

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова
Сибирского отделения Российской академии наук

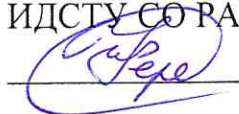


УТВЕРЖДАЮ
Директор ИДСТУ СО РАН
академик
И.В. Бычков
«12» февраля 2024 г.

ИТОГОВЫЙ ОТЧЕТ

*о научной и научно-организационной работе
за 2023 год*

Одобен Ученым советом
ИДСТУ СО РАН
Протокол № 1 от 28.02.2024

Ученый секретарь
ИДСТУ СО РАН к.т.н.
 Е.С. Фереферов



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук

Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences

Создан 1 ноября 1980 г.

Адрес: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134, а/я 292.

Тел.: (3952) 42-71-00. Факс: (3952) 51-16-16.

E-mail: idstu@icc.ru <http://www.idstu.irk.ru>

Директор – ак. Бычков Игорь Вячеславович.

Советники – чл.-к. РАН Толстоногов Александр Александрович, к.т.н. Максимкин Николай Николаевич.

Заместитель директора по научной работе – д.т.н. Феоктистов Александр Геннадьевич.

Заместитель директора по научной работе – д.ф.-м.н. Щеглова Алла Аркадьевна.

Ученый секретарь – к.т.н. Фереферов Евгений Сергеевич.

Заместитель директора по общим вопросам – Бабанин Дмитрий Геннадьевич.

Руководитель Центра коллективного пользования «Иркутский суперкомпьютерный центр СО РАН» – к.т.н. Новопашин Алексей Петрович.

Руководитель Центра коллективного пользования «Интегрированная информационно-вычислительная сеть Иркутского научно-образовательного комплекса» – к.т.н. Маджара Тарас Игоревич.

Общая численность института – 138 чел., в т.ч. н.р. – 77. Из них ак. – 1, чл.-к. РАН – 1, д.н. – 23, к.н. – 44.

Основные научные направления:

- теория и методы исследования эволюционных уравнений и динамических систем с приложениями;
- качественная теория и методы управления с приложениями;
- методы математической физики в задачах теории поля, газовой и плазменной динамики;
- теория, алгоритмы и вычислительные технологии решения задач оптимизации и исследования операций;
- теоретические основы и технологии организации распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем;
- теоретические основы, технологии и прикладные вопросы создания и развития информационно-телекоммуникационных инфраструктур и сетевых программно-аппаратных систем обеспечения научно-образовательной деятельности;
- методы, технологии и сервисы формирования информационно-аналитических, геоинформационных, вычислительных и программно-аппаратных систем в различных предметных областях (в том числе для поддержки комплексных междисциплинарных научных исследований).



Научные подразделения

Отделение 1. Эволюционных уравнений и управляемых динамических систем (чл.-к. РАН, д.ф.-м.н. А.А. Толстоногов)

Лаборатория 1.1. Дифференциальных уравнений и управляемых систем
(к.ф.-м.н. С.В. Свинина)

Лаборатория 1.2. Оптимального управления (к.ф.-м.н. С.П. Сорокин)

Отделение 2. Прикладных проблем математической физики и теории поля (д.ф.-м.н. Ю.А. Марков)

Отделение 3. Динамических свойств и управления сложными объектами в пространстве (д.ф.-м.н. А.В. Лакеев)

Отделение 4. Информационных технологий и систем (к.т.н. А.Е. Хмельнов)

Лаборатория 4.1. Комплексных информационных систем (к.т.н. Р.К. Фёдоров)

Лаборатория 4.2. Информационно-телекоммуникационных технологий исследования
техногенной безопасности (к.т.н. А.Ю. Юрин)

Отделение 5. Вычислительных и управляющих систем (д.т.н. Г.А. Опарин)

Лаборатория 5.1. Параллельных и распределенных вычислительных систем
(к.т.н. Р.О. Костромин)

Лаборатория 5.2. Информационно-управляющих систем (к.ф.-м.н. Н.В. Нагул)

Отделение 6. Методов невыпуклой и комбинаторной оптимизации (д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский)

Лаборатория 6.1. Невыпуклой оптимизации (к.ф.-м.н. А.В. Орлов)

Лаборатория 6.2. Логических и оптимизационных методов анализа сложных систем
(к.ф.-м.н. А.А. Лемперт)



ВВЕДЕНИЕ	6
ВАЖНЕЙШИЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ.....	10
ПРОЕКТЫ В РАМКАХ ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РФ.....	29
Направление науки: 1.1. Математические науки	29
Проект «Теория и методы исследования эволюционных уравнений и управляемых систем с их приложениями»	29
Проект «Аналитические и численные методы математической физики в задачах томографии, квантовой теории поля и механике жидкости и газа»	34
Проект «Качественный анализ динамических свойств и синтез управлений механическими системами с развитием средств компьютерной алгебры и средств численной реализации с приложением к проблемам управления и динамики космических аппаратов»	37
Направление науки: 1.2. Компьютерные и информационные науки	40
Проект «Технологии разработки и анализа предметно-ориентированных интеллектуальных систем группового управления в недетерминированных распределенных средах»	40
Проект «Методы и технологии облачной сервис-ориентированной цифровой платформы сбора, хранения и обработки больших объёмов разноформатных междисциплинарных данных и знаний, основанные на применении искусственного интеллекта, модельно-управляемого подхода и машинного обучения».....	44
Проект «Теоретические основы, методы и высокопроизводительные алгоритмы непрерывной и дискретной оптимизации для поддержки междисциплинарных научных исследований».....	55
Поисковый научный проект «Влияние изменения уровня воды в озере Байкал на состояние экосистемы озера, определение ущерба объектам экономики и инфраструктуры прибрежной территории Республики Бурятия, Иркутской области в зависимости от уровней озера и сбросов Иркутской ГЭС»	59
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОЕКТАМ, ПОДДЕРЖАННЫМ СОВЕТОМ ПО ГРАНТАМ ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	61
ГРАНТЫ МИНОБРНАУКИ	68
РАБОТЫ ПО РАЗВИТИЮ ИНФРАСТРУКТУРЫ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ИРКУТСКОГО НАУЧНО- ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА (ИИВС ИРНОК).....	73
Работы, выполненные по программам развития центров коллективного пользования (ЦКП)	73
ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	76



НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	78
Ученый совет.....	78
Диссертационный совет	78
Научные кадры.....	78
Конференции и семинары	78
Связи с вузами.....	79
Членство в советах РАН и СО РАН.....	79
Членство в национальных и международных научных организациях.....	80
Членство в редколлегиях научных изданий.....	80
Членство в научно-технических советах и.....	81
комиссиях органов государственной власти.....	81
Экспертная деятельность	83
МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ И СОВМЕСТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ С ЗАРУБЕЖНЫМИ НАУЧНЫМИ УЧРЕЖДЕНИЯМИ	84
ПЕРЕЧЕНЬ ПУБЛИКАЦИЙ И ПОЛУЧЕННЫХ ПАТЕНТОВ	87



ВВЕДЕНИЕ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук (далее Институт) функционирует как самостоятельный институт с 1 ноября 1980 года.

В соответствии с Уставом Института, утвержденным приказом Министерства науки и высшего образования от 06.07.2018 № 237, основными направлениями фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований ИДСТУ СО РАН являются:

- теория и методы исследования эволюционных уравнений и динамических систем с приложениями;
- качественная теория и методы управления с приложениями;
- методы математической физики в задачах теории поля, газовой и плазменной динамики;
- теория, алгоритмы и вычислительные технологии решения задач оптимизации и исследования операций;
- теоретические основы и технологии организации распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем;
- теоретические основы, технологии и прикладные вопросы создания и развития информационно-телекоммуникационных инфраструктур и сетевых программно-аппаратных систем обеспечения научно-образовательной деятельности;
- методы, технологии и сервисы формирования информационно-аналитических, геоинформационных, вычислительных и программно-аппаратных систем в различных предметных областях (в том числе для поддержки комплексных междисциплинарных научных исследований).

В 2023 году в Институте работали 138 человек, из них 77 – научные работники, в том числе 1 действительный член РАН, 1 член-корреспондент РАН, 23 доктора наук и 44 кандидата наук, молодых научных работников (до 39 лет) – 21, проходили обучение 8 аспирантов.

В 2023 году Институт проводил фундаментальные исследования в соответствии с Планом научно-исследовательской работы и Государственным заданием по 6 научным (базовым) темам в рамках двух приоритетных направлений Программы фундаментальных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021-2030 годы):

- Теория и методы исследования эволюционных уравнений и управляемых систем с их приложениями, № гос регистрации 121041300060-4 (руководитель – чл.-к. РАН А.А. Толстоногов).
- Аналитические и численные методы математической физики в задачах томографии, квантовой теории поля и механике жидкости и газа, № гос регистрации 121041300058-1 (руководитель – д.ф.-м.н. Ю.А. Марков).
- Качественный анализ динамических свойств и синтез управлений механическими системами с развитием средств компьютерной алгебры и средств численной реализации с приложением к проблемам управления и динамики космических аппаратов, № гос регистрации 121041300056-7 (руководитель – д.ф.-м.н. А.В. Лакеев).



- Технологии разработки и анализа предметно-ориентированных интеллектуальных систем группового управления в недетерминированных распределенных средах, № гос регистрации 121032400051-9 (руководитель – ак. И.В. Бычков).
- Методы и технологии облачной сервис-ориентированной цифровой платформы сбора, хранения и обработки больших объёмов разноформатных междисциплинарных данных и знаний, основанные на применении искусственного интеллекта, модельно-управляемого подхода и машинного обучения, № гос. регистрации 121030500071-2 (руководитель – к.т.н. А.Е. Хмельнов).
- Теоретические основы, методы и высокопроизводительные алгоритмы непрерывной и дискретной оптимизации для поддержки междисциплинарных научных исследований, № гос регистрации 121041300065-9 (руководитель – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский).

В 2023 году в качестве головной организации ИДСТУ СО РАН проводил исследования и координировал работу консорциума исполнителей по крупному научному проекту по приоритетным направлениям научно-технического развития «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории», соглашение № 075-15-2020-787 от 30.09.2020 (научный руководитель проекта – ак. И.В. Бычков). Проект выполняется за счет средств гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках подпрограммы «Фундаментальные научные исследования для долгосрочного развития и обеспечения конкурентоспособности общества и государства» государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации».

В 2023 году проведены поисковые научные исследования по теме «Влияние изменения уровня воды в озере Байкал на состояние экосистемы озера, определение ущерба объектам экономики и инфраструктуры прибрежной территории Республики Бурятия, Иркутской области в зависимости от уровней озера и сбросов Иркутской ГЭС» (руководитель – ак. И.В. Бычков).

Кроме того, в 2023 году проводились фундаментальные исследования по 5 проектам РНФ.

Все задания 2023 года выполнены в полном объёме.

В 2023 году Институтом проведены следующие научные мероприятия:

1. V Международный семинар по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (IV International Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments, ICCS-DE 2023), 3-7 июля 2023 года, г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН (смешанный формат).
2. 39 Международная конференция Ляпуновские чтения, 4–8 декабря 2023 года, г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН.

Сотрудниками Института в 2023 году опубликована 341 работа, из них 50 – в изданиях, включенных в международную базу цитирования Web of Science, 93 – в изданиях, включенных в международную базу цитирования Scopus, 227 – в изданиях, включенных в



базу РИНЦ, получено 11 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ в Российском агентстве по патентам и товарным знакам.

Благодарность Министерства науки и высшего образования РФ вручена инженеру отдела инженерно-технического обеспечения Столбовой Г.Н.

Медалью «За безупречный труд и отличие» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации награждена главный специалист НОО Батурина Е.Ю.

Почетной грамотой РАН награждены д.ф.-м.н. Булатов М.В., к.ф.-м.н. Семенов Э.И.

Звание «Заслуженный ветеран Сибирского отделения РАН» присвоено программисту научной библиотеки Гречке О.И., к.т.н. Павлову А.И., к.т.н. Фереферову Е.С., д.т.н. Юрину А.Ю.

Почетной грамотой Губернатора Иркутской области награждены к.ф.-м.н. Васильев И.Л., к.т.н. Максимкин Н.Н.

Благодарность Губернатора Иркутской области вручена д.ф.-м.н. Казакову А.Л.

Благодарственные письма Губернатора Иркутской области вручены инспектору спецчасти Зеленовой Л.Ф., д.т.н. Опарину Г.А., чл.-к. РАН Толстоногову А.А., д.т.н. Тятюшкину А.И., д.ф.-м.н. Финогенко И.А., программисту НОО Хартановой Н.П.

Почетной грамотой Министерства образования Иркутской области награждена к.ф.-м.н. Груздева Т.В.

К.т.н. Жаркову М.Л. и к.т.н. Михайлову А.А. объявлена благодарность Председателя Думы города Иркутска.

Почетной грамотой мэра города Иркутска награждены д.т.н. Феоктистов А.Г., д.ф.-м.н. Чистяков В.Ф.

Благодарность мэра г. Иркутска объявлена начальнику отдела делопроизводства и организационного обеспечения Кононенко Г.Б. и ведущему специалисту по кадрам Скитович А.Л.

Премия Губернатора Иркутской области в сфере молодежной политики вручена к.т.н. Костромину Р.О.

К.т.н. Попова А.К. и к.т.н. Авраменко Ю.В. – лауреаты областного конкурса в сфере науки и техники 2023 года в номинации «За значительный вклад в развитие науки и техники и решение социально-экономических проблем Иркутской области» за работу «Сервисы обработки данных дистанционного зондирования Земли методами машинного обучения».

Стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики на 2021-2023 годы, продолжали получать к.т.н. Костромин Р.О. и к.т.н. Дородных Н.О.

Именную стипендию Губернатора Иркутской области получила Пестова Ю.В.

Итоги конкурса теоретических работ, представленных на Ляпуновские чтения в 2023 г.

Первое место занял Булатов Михаил Валерьянович за цикл статей «Подходы к численному решению интегро-дифференциальных систем уравнений с тождественно вырожденной главной частью».



Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2023 г.

Второе место заняли Дородных Никита Олегович, Юрин Александр Юрьевич за цикл статей «Подход к созданию предметных графов знаний на основе аннотированных табличных данных».

В конкурсе теоретических работ молодых ученых первое место занял Жарков Максим Леонидович за цикл статей «Разработка методики математического моделирования работы грузовых и пассажирских транспортных систем и сетей».



ВАЖНЕЙШИЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Теоремы сравнения для эволюционных включений с максимально монотонными операторами. L^2 -теория

В сепарабельном гильбертовом пространстве изучено эволюционное включение с зависящим от времени семейством максимально монотонных операторов. Если элементы минимальной нормы семейства максимально монотонных операторов удовлетворяют условиям роста, то области определения семейства максимально монотонных операторов являются замкнутыми выпуклыми множествами. Поэтому будет определен процесс выметания, значениями которого являются нормальные конусы областей определения максимально монотонных операторов. Доказано, что если процесс выметания при любом однозначном возмущении из пространства интегрируемых функций имеет решение, то этим свойством обладает и эволюционное включение с максимально монотонными операторами и однозначными возмущениями из пространства интегрируемых функций. В терминах свойств семейства максимально монотонных операторов даны самые общие условия, обеспечивающие существование решений процесса выметания. Все полученные результаты, а также предлагаемый подход являются новыми. Они используются для доказательства теоремы существования решений эволюционного включения с многозначным возмущением, значениями которого являются замкнутые невыпуклые множества.

Автор: чл.-к. РАН Толстоногов А.А.

Публикация по результату:

Tolstonogov A.A. Distances between maximal monotone operators // Siberian Mathematical Journal. 2023. Vol. 64, № 4. P. 914–926. DOI: 10.1134/S0037446623040134. URL: <https://link.springer.com/article/10.1134/s0037446623040134> (Web of Science Q3).

2. Экстремальное управление моделью «жертва-хищник» при постоянном ареале обитания с учетом гистерезисных эффектов

Изучена нелинейная управляемая система дифференциальных уравнений в частных производных в рамках концепции «хищник–жертва–пища для жертвы». Наша система учитывает ситуацию, когда зависимость плотности растительности от плотности жертвы и хищников имеет гистерезисный характер. В то же время область произрастания растительности фиксирована, что является разумным предположением во многих биологических моделях, представляющих практический интерес. При минимальном наборе требований к функциям, определяющим область гистерезиса, доказано существование решения для соответствующей (неуправляемой) системы. Затем установлено существование решений для системы управления и получен принцип «бэнг–бэнг» для нее. Последний устанавливает аппроксимацию заданного решения управляемой системы экстремальными решениями.

Автор: к.ф.-м.н. Тимошин С.А.

Публикация по результату:

Sergey A. Timoshin. Bang-bang control of a prey-predator model with a stable food stock and hysteresis. Appl. Math. Optim. 2023. Vol. 88, № 1. Paper № 26 (Web of Science Q1).



3. Разрешимость нестационарных вырожденных систем с дискретным временем

Рассмотрена нестационарная линейная дискретная дескрипторная система с прямоугольными матричными коэффициентами, определенная на конечном горизонте. Получен ответ на вопрос, какое наибольшее число искомых векторов можно найти из заданного конечного числа уравнений? С такой же точки зрения изучается разрешимость нестационарных линейных систем с непрерывным и дискретным временем, а также (в локальном смысле) нелинейных дискретных систем. Предложенный подход может быть использован для пошагового нахождения решения. Показано, что в тех случаях, когда рассматриваемая линейная или нелинейная система сохраняет внутреннюю структуру, возможно нахождение ее решений на бесконечном горизонте. Это обстоятельство позволяет получить явное представление для общего решения такой системы. Используемый подход обладает достаточной общностью и автоматически решает проблему согласования начальных данных. Он может быть использован для исследования качественных свойств таких систем.

Автор: д.ф.-м.н. Щеглова А.А.

Публикация по результату:

Щеглова А.А. К вопросу существования решений вырожденных систем с дискретным временем // Дифференциальные уравнения. 2023. Т. 59, № 5. С. 675-692 (Web of Science Q3).

4. Общий позиционный принцип минимума для динамических задач оптимального управления без фазоограничений

Для динамических задач оптимального управления без фазоограничений доказано необходимое условие глобальной оптимальности в форме общего позиционного принципа минимума с гладкой по состоянию нелинейной опорной мажорантой (слабо убывающего решения неравенства Гамильтона-Якоби). Естественным критерием опорности произвольной мажоранты оказывается совпадение её градиента (вдоль исследуемой траектории) с соответствующим решением сопряженной системы. Тем самым возникает семейство (по опорным мажорантам) позиционных принципов минимума. Результаты имеют место для задач с дискретным принципом максимума, который оказывается существенно усиленным.

Автор: д.ф.-м.н. Дыхта В.А.

5. Точные формулы приращения в задачах управления транспортными уравнениями

Транспортное уравнение, называемое также уравнением неразрывности, это уравнение в частных производных, которое описывает эволюцию во времени распределения, движущегося под действием векторного поля. Это одно из важнейших уравнений механики сплошных сред; оно также лежит в основе большинства кинетических моделей популяционной динамики. В рамках проекта был разработан алгоритм спуска для задачи оптимального управления транспортным уравнением в классе неограниченных (импульсных) управлений, основанный на так называемой точной формуле приращения. В отличие от стандартного алгоритма градиентного спуска, предложенный метод не требует



дополнительной, вычислительно затратной, процедуры подбора шага спуска. Точные формулы оперируют управляющими стратегиями с обратной связью, что требует решения нелинейного уравнения с нелокальными (зависящими от текущего распределения) членами. Алгоритм был реализован на языке Julia и показал свою эффективность на тестовых примерах.

Авторы: к.ф.-м.н. Гончарова Е.В., к.ф.-м.н. Погодаев Н.И., к.ф.-м.н. Старицын М.В.

6. Методика аппроксимации множества достижимости управляемой системы с переменным запаздыванием

Для нелинейных управляемых систем разработана методика построения внутренней аппроксимации множества достижимости в условиях существенного влияния на динамику последующих компонент модели, в которых постоянность запаздывания не гарантирована. В основу реализованного алгоритма положен метод Ритца, сводящий исходную постановку к большой задаче математического программирования по поиску коэффициентов аппроксимирующих кубических сплайнов. Для получения достаточно объемных внутренних аппроксимаций множества достижимости применена технология «бегущей волны», позволяющая получать близкие к оптимальным результаты при относительно небольших вычислительных затратах.

С применением предложенного алгоритма изучена управляемая популяционная модель Хатчисона, в которой скорость изъятия особей пропорциональна размеру популяции.

Динамика системы описывается уравнениями

$$\begin{aligned} dx_1(t)/dt &= R(1 - x_1(g(t))/K)x_1(t) - x_1(t)x_2(t), \\ dx_2(t)/dt &= u(t). \end{aligned}$$

На управление, прямо задающее темп (процент) изъятия, накладываются ограничения $0 \leq u(t) \leq u_{max}$, задается $u_{max} = 0.1$. Коэффициент размножения R принят равным 0.1, емкость среды обитания – $K = 0.5$. Интервал изменения времени $0 \leq t \leq 10$, начальные данные $x_1(0) = 1, x_2(0) = 0$.

Рассмотрено три варианта динамики системы: без запаздывания, первый вариант с запаздыванием: $g(t) = x_1(0.8t - 0.07t^2)$, второй вариант с запаздыванием: $g(t) = x_1(0.8t - 0.05t^2)$.

Результаты расчетов – полученные граничные аппроксимации множества достижимости – приведены на рис. 1.

Авторы: д.т.н. Горнов А.Ю., к.т.н. Зароднюк Т.С., д.т.н. Тятюшкин А.И.

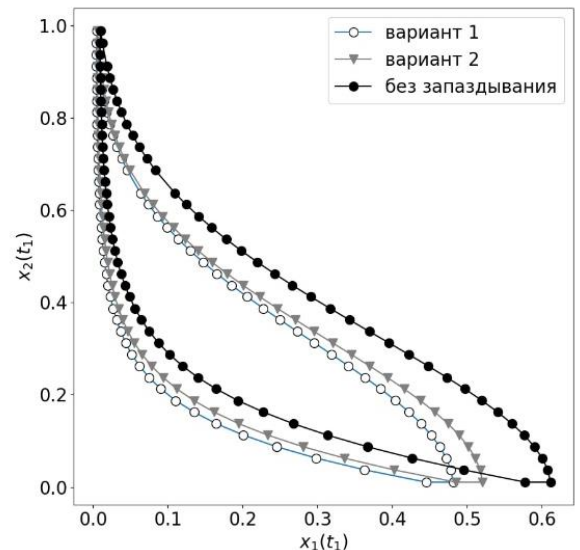


Рис. 1. Аппроксимация множества достижимости в модели Хатчисона с переменным запаздыванием



7. Моноволновой метод построения границы множества достижимости управляемых динамических систем

Предложенный подход к построению границы невыпуклых множеств достижимости основан на формировании последовательности управляющих воздействий релейного типа. Данное семейство включает релейные управления, для построения которых используется равномерное разбиение временного интервала и точки переключения, последовательно пробегающие все узлы сформированной сетки в прямом и обратном направлении. Построенные таким образом управления позволяют получить точку на границе множества достижимости и с ростом мощности формируемой сетки качество аппроксимации границы множества повышается. Для корректного использования предложенного подхода необходима линейность системы дифференциальных уравнений относительно управления – это позволяет обеспечить попадание траектории системы в конечный момент времени на границу множества достижимости.

Рассмотрим последовательность тестовых примеров, определенных на увеличивающихся интервалах времени:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= u_1 + x_2, \dot{x}_2 = u_1 + \cos x_2 - x_1, \\ x_1(0) &= 0, x_2(0) = 0, |u(t)| \leq 0.5, 0 \leq t \leq t_1 \leq 10.\end{aligned}$$

С увеличением временного интервала структура множества значительно усложняется, но с помощью разработанного моноволнового метода удастся восстановить его границу (рис. 2.).

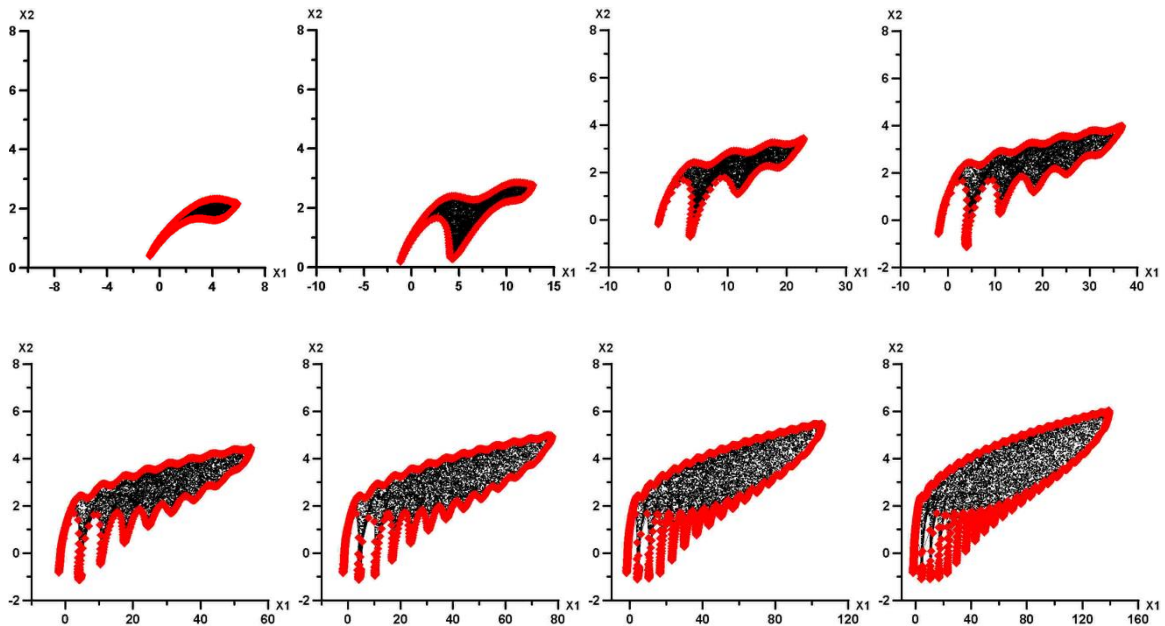


Рис. 2. Множества достижимости рассмотренной управляемой динамической системы на разных интервалах времени $t \in [0, t_1]$, $t_1 = 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10$

Проведены результаты вычислительных экспериментов, которые наглядно продемонстрировали применимость предложенного метода для построения границы невыпуклых множеств достижимости управляемых динамических систем.

Авторы: д.т.н. Горнов А.Ю., к.т.н. Зароднюк Т.С.



8. Обратная задача рассеяния в исследовании тензорных объектов

Обратная задача электромагнитного рассеяния ставится как задача определения размера, формы и внутренних характеристик (тензорных параметров) рассеивателя (объекта) для заданных падающих и рассеянных электромагнитных полей. Получена тензорная Фурье дифракционная теорема (ТФДТ), устанавливающая взаимосвязь между преобразованием Фурье рассеянного поля и преобразованием Фурье рассеивателя. Спектральное представление тензорной функции Грина для уравнения Гельмгольца и приближение Борна были использованы для вывода ТФДТ и разработки численного алгоритма для реконструкции тензорных функций по данным рассеяния электромагнитного поля. Компьютерное моделирование выполнено для среды, где тензор диэлектрической проницаемости имеет диагональный вид. Компоненты тензора V_{11} и V_{22} представлены на рис. 3.

Автор: д.ф.-м.н. Баландин А.Л.

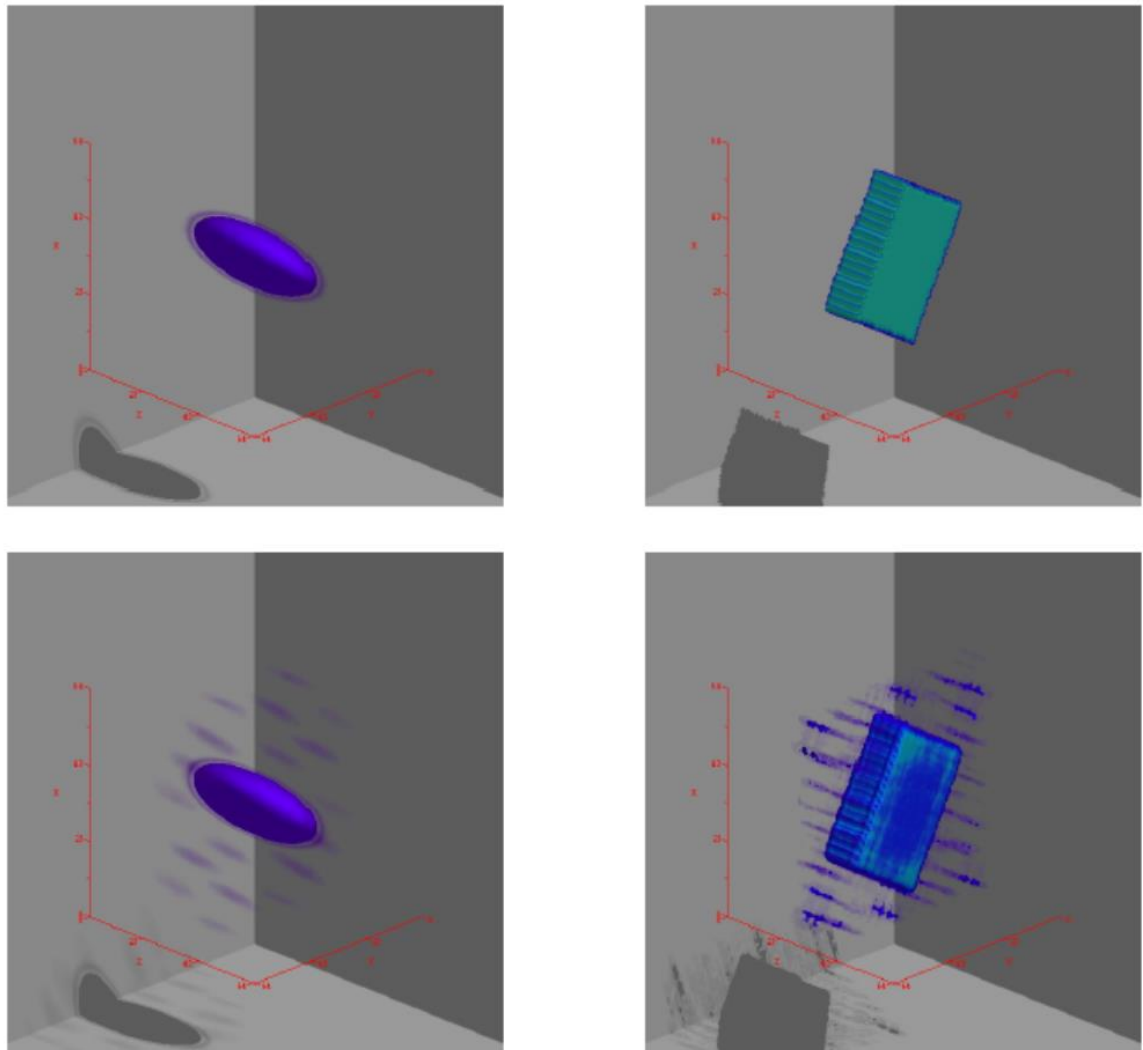


Рис. 3. 3D изображение модельных $V_{11}(r)$ и $V_{22}(r)$ компонент тензора диэлектрической проницаемости.
Верхняя линия – точные модели, нижняя линия – их реконструкции



Публикации по результату:

1. Balandin A. Inverse scattering problem for the tensor fields in a coordinate-free representation // Journal of Computational and Applied Mathematics. 2023. Vol. 441. P. 115697. DOI: 10.1016/j.cam.2023.115697.
2. Balandin A.L. Fourier Diffraction Theorem for the Tensor Fields // Applications of Mathematics. 2023. Vol. 68, № 5. P. 559-570. DOI:10.21136/AM.2023.0098-22.

9. Построение диффузионной волны с трехчастной структурой

В ходе проведенных исследований было расширено понятие диффузионной (тепловой, фильтрационной) волны, под которой со второй половины прошлого века понималось составное решение нелинейного параболического уравнения из двух частей: неотрицательной и нулевой, непрерывно состыкованных между собой вдоль некоторой линии (поверхности) – фронта волны. Для случая двух различных нулевых фронтов для двух искомых функций диффузионная волна состоит уже из трех частей: 1) обе функции положительны; 2) одна из функций положительна, другая равна нулю; 3) обе функции равны нулю (трехчастная структура). Следует отметить, что пара функций, графики которых выделены на рис. 4 синим цветом, не является решением системы, т. е. построение второй части диффузионной волны потребовало проведения дополнительного исследования, которое также было успешно выполнено, тем самым была обоснована теорема существования и единственности диффузионных волн с трехчастной структурой. Построены конкретные примеры решений искомого вида.

Авторы: д.ф.-м.н. Казаков А.Л., к.ф.-м.н. Кузнецов П.А.

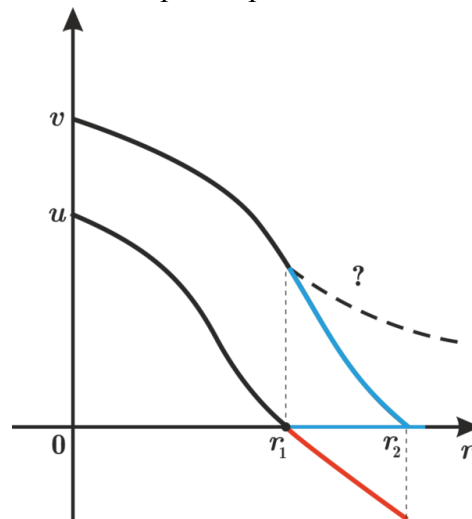


Рис. 4. Сечение трехчастной диффузионной волны в момент $t = t^* > 0$

Публикации по результату:

1. Kazakov A.L., Kuznetsov P.A., Spevak L.F. The Problem of Diffusion Wave Initiation for a Nonlinear Second-Order Parabolic System // Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics. 2023. Vol. 321 (Suppl. 1). pp. S109-S126.
2. Казаков А.Л., Кузнецов П.А., Спёвак Л.Ф. Задача об иницировании диффузионной волны для нелинейной параболической системы второго порядка // Труды Института математики и механики УрО РАН. 2023. Т. 29, № 2. С. 67-86.



10. Свойства решений уравнения Сомос-4

Доказано тождество, обобщающее тождество Вайды для последовательности многочленов Люка, соответствующее циклу любой длины. Для любой линейной последовательности второго порядка показано, что она является Сомос-4 последовательностью. Найдено тождество, связывающее любую такую последовательность с сопутствующей эллиптической последовательностью (companion elliptic sequence).

Доказана теорема, обобщающая теорему ван дер Пуртена-Сворт о том, что общая Сомос-4 последовательность удовлетворяет любому из трехчленных уравнений Гейла-Робинсона с подходящими коэффициентами. Также доказана теорема о том, что любая подпоследовательность общей Сомос-4 последовательности, где номер каждого члена принадлежит произвольной арифметической последовательности, также является Сомос-4 последовательностью.

Автор: к.ф.-м.н. Свинин А.К.

Публикация по результату:

Svinin A. K. Somos-4 equation and related equations // Advances in Applied Mathematics. 2024. V. 153. 102609. DOI: 10.1016/j.aam.2023.102609.

11. Разрешимость задачи полилинейной дифференциальной реализации детерминированного динамического хаоса в классе уравнений высших порядков с запаздыванием

В работе установлен характеристический признак (и его аналитические модификации) разрешимости задачи дифференциальной реализации пучка управляемых траекторных кривых детерминированных хаотических процессов в классе билинейных неавтономных обыкновенных дифференциальных уравнений (с запаздыванием и без) высших порядков в сепарабельном гильбертовом пространстве. Данная постановка относится к обратным задачам для аддитивной комбинации нестационарных линейных и билинейных операторов эволюционного уравнения высшего порядка в гильбертовом пространстве. Основой данной теории служат конструкции тензорных произведений гильбертовых пространств, структуры решеток с ортогополнением, теория расширения M_2 -операторов и функциональный аппарат энтропийного оператора Релея–Ритца. Показано, что в случае конечного пучка траекторных кривых наличие свойства сублинейности данного оператора, позволяет получить достаточные алгебраические условия для существования таких реализаций.

Все результаты получены в аналитическом виде, при этом некоторые из них подтверждены с помощью средств компьютерной алгебры. Приведем примеры, иллюстрирующие в билинейном дифференциальном моделировании потенциал этих средств.

Пример 1 (задача полилинейного моделирования не разрешима), пример 2 (наличие разрешимости задачи полилинейного моделирования) иллюстрируют тот непреложный факт, что если размерность исследуемой (моделируемой) бихевиористической динамической системы «запредельно высока», то автоматизированный символьный анализ разрешимости задачи её дифференциальной реализации можно осуществить только на методологической основе современной компьютерной алгебры, возможно, с разработкой новых специализированных алгоритмов.

Авторы: д.ф.-м.н. Лакеев А.В., д.ф.-м.н. Русанов В.А., к.ф.-м.н. Банищиков А.В.

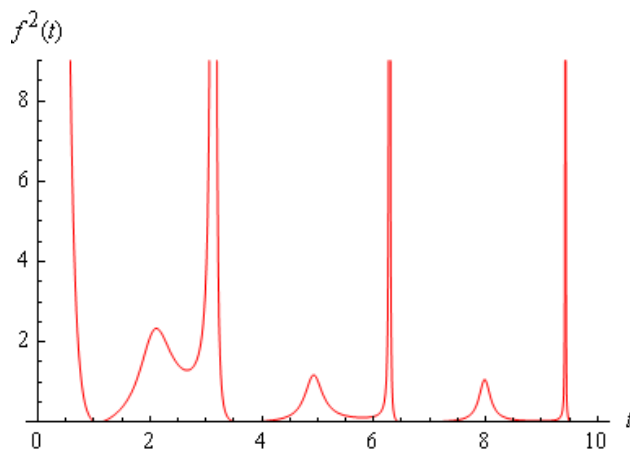


Рис. 5. Пример 1

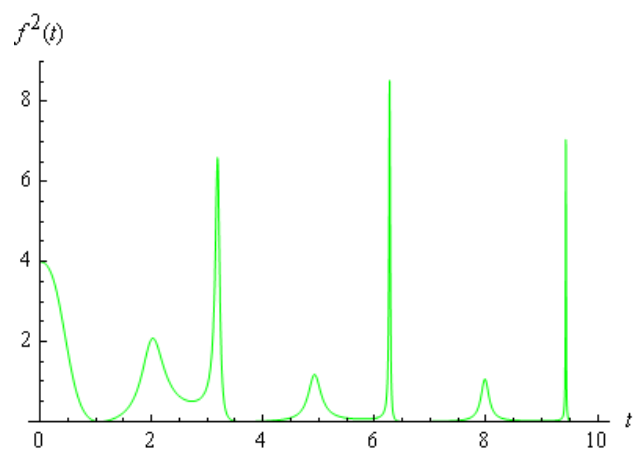


Рис. 6. Пример 2

Публикации по результату:

1. Банщиков А.В., Лакеев А.В., Русанов В.А. О полилинейной дифференциальной реализации детерминированного динамического хаоса в классе уравнений высших порядков с запаздыванием // Известия вузов. Математика. 2023. № 10. С. 3–21. DOI: <http://dx.doi.org/10.26907/0021-3446-2023-10-3-21> (РИНЦ).

2. Bانشchikov A.V., Lakeyev A.V., Rusanov V.A. On polylinear differential realization of the determined dynamic chaos in the class of higher order equations with delay // Russian Mathematics. 2023. Vol. 67, No. 10. P. 39–53. <http://dx.doi.org/10.3103/S1066369X2310002X> (Web of Science Q4, Scopus Q3).

12. Метод инициализации моделей лесных ресурсов на основе спутниковых данных

Разработан метод инициализации моделей лесных ресурсов, основанный на обработке разноформатных спутниковых данных из открытых источников. Для моделей динамики лесных ресурсов в качестве входных требуются данные о породах и возрасте деревьев исследуемой территории, разделенной на небольшие участки. Сбор такой информации с помощью наземных обследований требует значительных временных затрат, что снижает актуальность полученных данных. Поэтому для сбора исходной информации о породах и возрасте деревьев предложено использовать спутниковые данные.

Созданный метод включает совместную обработку глобальных данных дистанционного зондирования о классификации земной поверхности и наземной биомассе. При этом выбранная классификация содержала несколько групп пород деревьев – хвойные, лиственные и лиственницы. Она была совмещена с полученными со спутника данными о наземной биомассе, которые с помощью региональных таблиц хода роста преобразованы в классы возраста соответствующих пород. Для разделения области исследования на регионы дополнительно были обработаны климатические, почвенные данные и рельеф. Метод был впервые опробован на территории Голоустненского лесничества для инициализации модели LANDIS-II. В дальнейшем предложенный метод может использоваться для новых областей исследования и инициализации других моделей динамики лесных ресурсов.

Автор: к.т.н. Попова А.К.

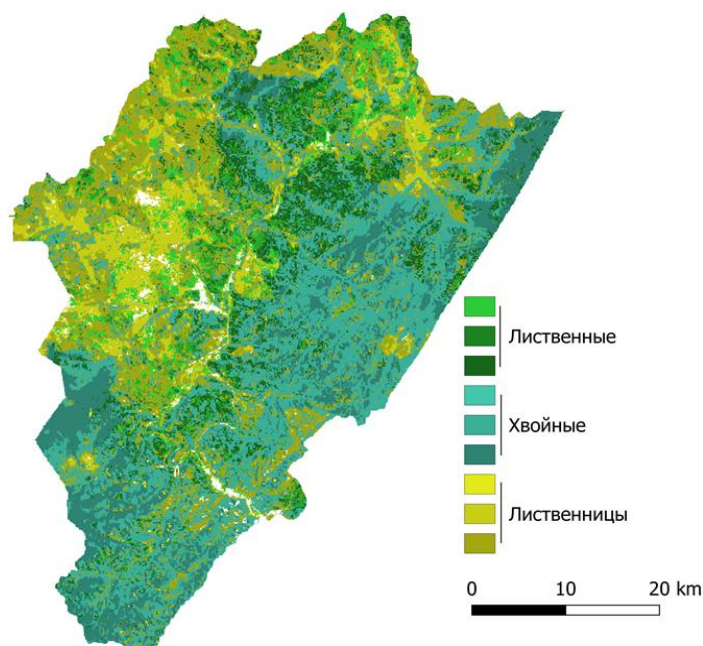


Рис. 7. Полученные данные о группах пород и классах возраста для Голоустненского лесничества, более темные оттенки каждого цвета соответствуют участкам с деревьями более старшего возраста

Публикации по результату:

1. Bychkov I, Popova A. Forest Landscape Model Initialization with Remotely Sensed-Based Open-Source Databases in the Absence of Inventory Data. *Forests*. 2023; 14(10):1995. DOI:10.3390/f14101995 (Web of Science Q1).
2. Попова А.К. Использование спутниковых данных для инициализации моделей динамики лесных ресурсов // Сборник статей 12-ой Международной конференции «Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг», № 9, 2023 (РИНЦ).
3. Попова А.К. Подготовка начальных данных для моделей лесных ресурсов на основе данных ДЗЗ // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28, № 6. С. 135-150. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.6.012 (Scopus Q4, RSCI).
4. Попова А.К. Сбор данных о породе и возрасте деревьев со спутника // Материалы 21-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Электронный сборник материалов конференции. Институт космических исследований Российской академии наук. М., 2023. С. 398 (РИНЦ).

13. Подход к семантическому аннотированию табличных данных и созданию предметных графов

Предложен подход к семантической интерпретации (аннотированию) электронных реляционных таблиц и созданию предметных графов знаний, включающий решение трех основных задач семантической интерпретации таблиц (аннотирование ячеек, столбцов и отношений между столбцами) на основе применения гибридных методов с использованием оригинальных эвристических правил, техник векторных представлений слов и сущностей, а



также глубоких нейросетевых моделей. В результате применения подхода возможно автоматическое извлечение конкретных сущностей (фактов) из строк таблиц и пополнения ими целевого графа знаний. Предлагаемый подход реализован в форме программного средства.

Произведена апробация подхода и реализующего его программного средства при решении задач создания предметных графов знаний в области диагностирования нефтехимического оборудования и анализ рынка труда Иркутской области.

Авторы: к.т.н. Дородных Н.О., д.т.н. Юрин А.Ю.

Публикации по результату:

1. Dorodnykh N.O, Yurin A.Yu. Knowledge Graph Engineering Based on Semantic Annotation of Tables // Computation. 2023. Vol. 11, No. 9. P. 1-32. DOI: 10.3390/computation11090175 (WOS Q2).
2. Dorodnykh N.O., Yurin A.Yu. Using Semantic Annotation of Tabular Data for Domain Knowledge Graph Population // Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. Vol. 777. P. 206-216. DOI: 10.1007/978-3-031-43792-2_20 (Scopus Q4).
3. Амирасланов И.В., Дородных Н.О., Юрин А.Ю. Программное средство извлечения сущностей из семантически аннотированных табличных данных. Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2023. № 2(30). С. 138-151. DOI: 10.25729/ESI.2023.30.2.014 (РИНЦ).

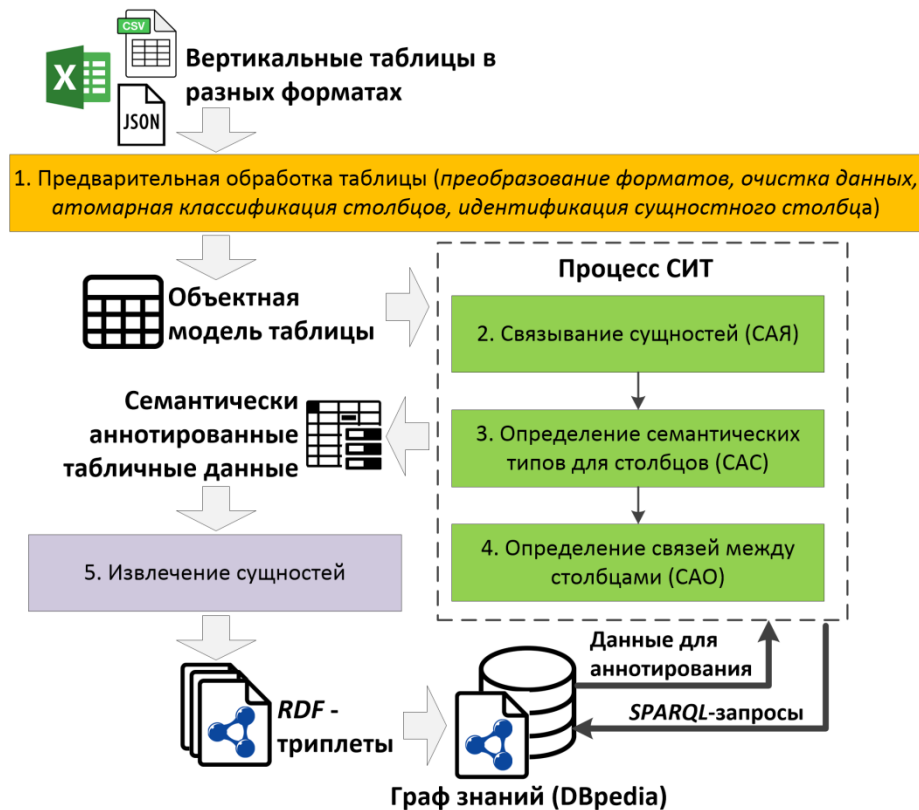


Рис.8. Основные этапы подхода



14. Инструментальные средства автоматизации разработки и применения пакета прикладных микросервисов

Предложены программно-инструментальные мультиагентные средства автоматизации создания пакета прикладных микросервисов для проведения качественного исследования управляемых нелинейных двоичных динамических систем (ДДС) на основе метода булевых ограничений, ориентированного на применение в гибридной облачной инфраструктуре (рис. 9(а)). С использованием этого пакета для асинхронных ДДС построена булева динамическая модель с управлением расписанием обновления переменных вектора состояния на конечном промежутке времени и получено конструктивное решение задач качественного исследования этой модели (рис. 9 (б)). Впервые рассмотрены асинхронные ДДС, поведение которых во времени зависит от управления схемой обновления. Актуальность изучения моделей асинхронно обновляемых ДДС обусловлена приложениями таких моделей к реальным системам, где идеальная синхронность является редкостью.

Авторы: д.т.н. Опарин Г.А., к.т.н. Богданова В.Г., Пашинин А.А.

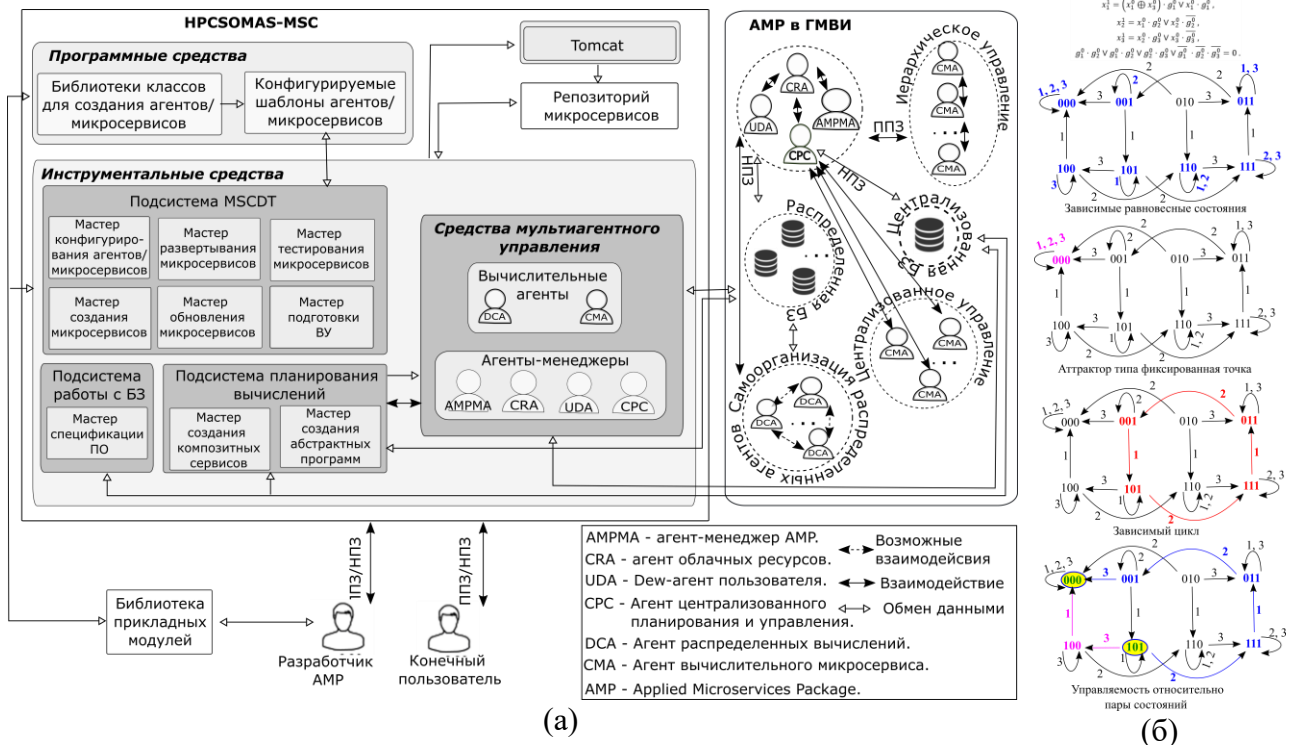


Рис. 9: (а) Средства разработки и применения пакета прикладных микросервисов (AMP) в гибридной микросервисной вычислительной среде (ГМВИ); (б) Пример исследования существования разных типов аттракторов и свойства управляемости асинхронной ДДС с применением AMP

Публикации по результату:

- Опарин Г.А., Богданова В.Г., Пашинин А.А. Применение метода булевых ограничений для качественного анализа динамических свойств сингулярных булевых сетей // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28, № 1. С. 48–60 (Scopus Q4).
- Oparin G.A., Bogdanova V.G., Pashinin A.A. Binary dynamic models of structural synthesis of programs // Proc. of the 46th MIPRO ICT and Electronics Convention. 2023. IEEE 2023. P. 1010–1015 (Scopus Q4).



3. Oparin G.A., Bogdanova V.G., Pashinin A.A. Qualitative analysis of the dynamics of asynchronous Boolean networks with control of update scheme for state variables // AIP Conference Proceedings, 12th Intern. Conf. on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Science (ICNPAA 2023) (Scopus).

15. Система мониторинга информационно-вычислительных ресурсов и процессов недетерминированной распределенной среды

Разработана система мониторинга информационно-вычислительных ресурсов и процессов недетерминированной распределенной среды (рис. 10). Данная система обеспечивает сбор, обработку, хранение и интеллектуальный анализ ретроспективных и текущих данных о функционировании компонентов информационно-вычислительных систем и их программно-аппаратных инфраструктур. В отличие от известных программных комплексов подобного назначения, она позволяет осуществлять мониторинг как ресурсов общего пользования, так и ресурсов облачных и туманных платформ. Результаты анализа ретроспективных и текущих данных в рамках системы мониторинга позволили существенно повысить эффективность подготовки и проведения масштабных экспериментов по решению научных и прикладных задач оценки использования природосберегающего оборудования, поиска критических элементов энергетических систем, исследования живучести энергетических инфраструктур, моделирования взаимодействия микросетей и др.

Авторы: д.т.н. Феокистов А.Г., к.т.н. Костромин Р.О., к.т.н. Башарина О.Ю.,
Воскобойников М.Л.

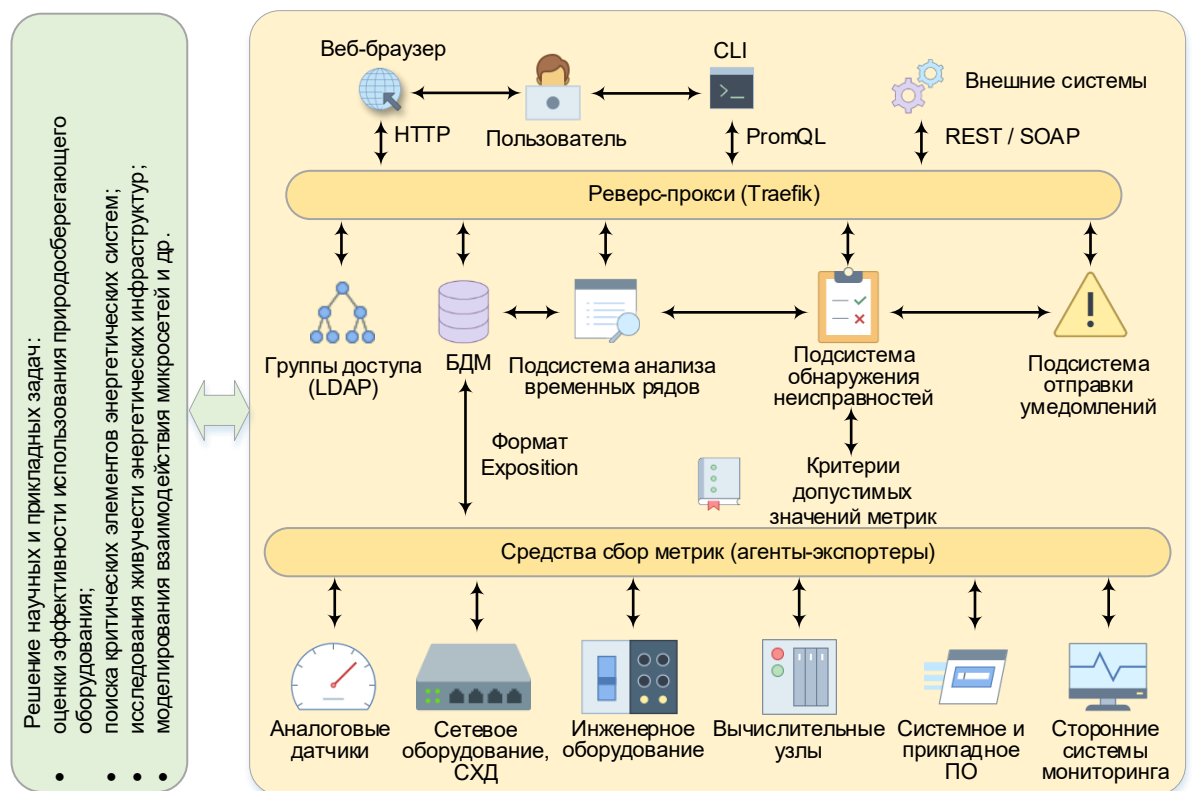


Рис. 10. Схема функционирования и применения системы мониторинга



Публикации по результату:

1. Feoktistov A., Edelev A., Tchernykh F., Gorsky S., Basharina O., Fereferov E. An Approach to Implementing High-Performance Computing for Problem Solving in Workflow-based Energy Infrastructure Resilience Studies // *Computation*. 2023. Vol. 11, № 12 P. 243 (WoS Q4, Scopus Q2).
2. Феоктистов А.Г., Костромин Р.О., Воскобойников М.Л., Ли-Дэ Д.И. Организация вычислительной среды разработки и применения научных рабочих процессов на основе контейнеризации // *Вычислительные технологии*. 2023. Т. 28, № 6. С. 151-164. (Scopus Q4).
3. Бычков И.В., Феоктистов А.Г., Чекан М.А. Модель поведения агента микросети // *Вычислительные технологии*. 2023. Т. 28, № 6. С. 108-117 (Scopus Q4).

16. Разработка алгоритма планирования пути в неструктурированной среде для группы роботов с учетом их кинематических и динамических ограничений на основе распределенной ситуационной модели внешней среды

Разработан децентрализованный алгоритм планирования пути группы автономных роботов при обследовании нестационарного поля концентрации с целью локализации его источников и восстановления линии уровня с целевым значением. Стратегия управления основывается на методе поведенческой структуры и реализует механизмы как био-инспирированных, так и градиентных подходов. Управление каждым агентом строится как взвешенная сумма шести сил: кооперирующая, градиентная, сегрегирующая, фронтальная, релаксирующая и граничная, рассчитывающихся на основе собственных координат и произведенного измерения функции поля, так и аналогичных данных, полученных от соседних роботов. Для параллельного решения обеих подзадач множество агентов разделяется на две группы. При этом, подгруппа, обеспечивающая локализацию источников, дополнительно разделяется на несколько поисковых кластеров, состоящих из 3-4 роботов. К ним прикладываются первые три силы, отвечающие за стайное поведение внутри группы, движение по приблизительной оценке градиента в сторону какого-либо из источников (эксплорация) и стайное взаимодействие между кластерами (эксплуатация), соответственно. Агенты второй подгруппы ориентируются при планировании пути на один из поисковых кластеров, но не состоят в них. На каждого такого робота действуют фронтальная сила, которая отталкивает его от связанного кластера или притягивает к нему в зависимости от того, опережает он целевую линию уровня или отстает от нее. Помимо этого, прикладывается релаксирующая сила, которая равномерно распределяет агентов по периметру целевой линии уровня. Наконец, граничная сила воздействует на всех роботов, обеспечивая их удержание внутри обследуемой области. Визуализация вышеописанных сил представлена на рис. 11.

Предложенная стратегия была реализована в рамках компьютерных симуляций и в комплексе TEMAR на неголономных колесных роботах. Для последнего было разработано преобразование результирующего вектора приложения сил в линейную и угловую скорости, необходимые для управления роботом, как машиной Дубинса. Результаты компьютерных симуляций и полунатурных испытаний согласуются между собой и демонстрируют высокую



точность и скорость как локализации источников поля концентрации, так и восстановления целевой линии уровня.

Автор: Толстихин А.А.

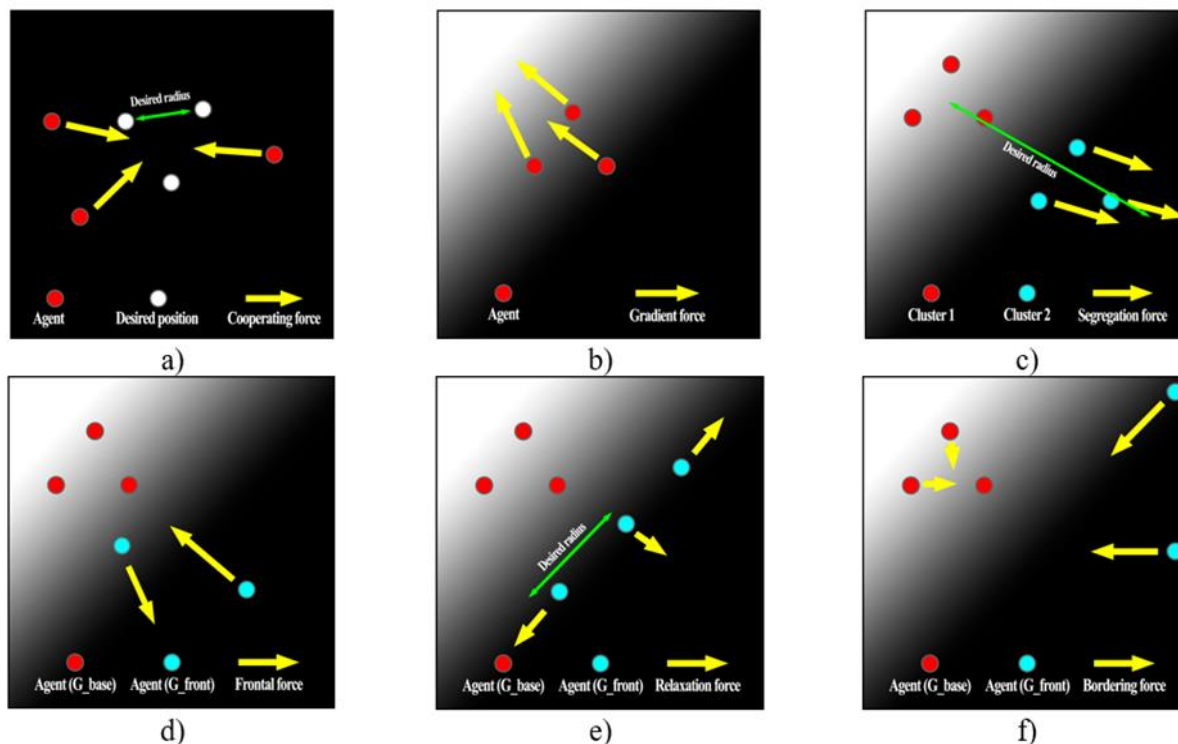


Рис. 11. Визуализация сил, действующих на роботов: а) кооперирующая сила; б) градиентная сила; в) сегрегирующая сила; д) фронтальная сила; е) релаксирующая сила; ф) граничная сила

Публикации по результату:

1. Tolstikhin A. Bio-inspired multi-purpose approach to the sampling problem // MDPI Computation. 2023. № 11. No. 12 (Scopus Q2)
2. Бычков И.В., Давыдов А.В., Кензин М.Ю., Нагул Н.В., Толстихин А.А. Интеллектуальное планирование стратегий и управление группой мобильных роботов в условиях неполноты информации // Известия ЮФУ. Технические науки. 2023. №1(231). С. 170-184 (РИНЦ).

17. Минимизирующие последовательности и сходимость схемы глобального поиска для общей задачи DC оптимизации с невыпуклыми ограничениями

Рассматривается общая задача невыпуклой оптимизации с гладкими DC ограничениями типа равенства и неравенства и DC целевой функцией, которая сведена к задаче без ограничений и DC целевой функцией с помощью Теории точного штрафа (ТТШ). Для минимизирующих последовательностей оштрафованной задачи доказаны необходимые и достаточные условия, связанные с известными Условиями глобальной оптимальности (УГО), а также разработан «теоретический метод» построения минимизирующих последовательностей и доказана его сходимость. Далее, используя специальный метод локального поиска (СМЛП) предложена новая схема (стратегия) глобального поиска (СГП) с



варьированием штрафного параметра, основанная на УГО и понятии разрешающей аппроксимации, обеспечивающей сходимость СГП. Последнее означает, что последовательность, генерируемая СГП, оказывается минимизирующей в предельной (по штрафному параметру) оштрафованной задаче. При условии «приближенной допустимости» каждого элемента сгенерированной СГП последовательности, она оказывается минимизирующей в исходной задаче DC минимизации с DC ограничениями.

Автор результата: д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский



Рис 12. Иерархическая структура модулей Схемы глобального поиска

Публикации по результату:

Стрекаловский А.С. Минимизирующие последовательности в задаче DC оптимизации с ограничениями // Труды Института математики и механики УрО РАН. 2023. Т. 29, №3. С. 185-209 (Strekalovsky A.S. Minimizing Sequences in a Constrained DC Optimization Problem // Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics. 2024. Vol. 323. Suppl. 1. P. 255-278).

18. Новые варианты практических задач составления расписаний: модели, приложения и алгоритмы поиска решений

Для нескольких обобщений задач составления расписаний, возникающих в реальных практических приложениях, построены математические модели в виде задач целочисленного программирования. Разработаны многоэтапные алгоритмы поиска решений, учитывающие математические постановки и специфику исследуемых задач. Проведено их тестирование на широком спектре тестовых задач, в том числе и возникающих на практике. Разработанные алгоритмы позволили найти в задачах близкие к оптимальным решения, погрешность которых относительно нижней оценки оптимального значения не превосходит нескольких процентов. Продемонстрировано существенное превосходство разработанного подхода над коммерческими решателями.

Так, был исследован обобщенный вариант задачи об упаковке прямоугольников в несколько полос, в котором размер каждого прямоугольника зависит от полосы упаковки. Такого рода задача естественным образом возникает в области составления расписаний выполнения разнородных вычислительных задач в гетерогенных распределенных вычислительных средах, а также в области портовой логистики, как обобщение задачи о назначении причальных стенок (berth assignment problem with multiple quays), в которой



требуется составить расписание загрузки-разгрузки множества судов различной грузоподъемности с целью минимизации времени простоя. Кроме того, исследован новый обобщенный вариант задачи составления расписания выполнения проекта с ограничением на ресурсы, множественными навыками и заданным сроком выполнения (multi-skill resource-constrained project scheduling problem), возникающий при составлении расписания выполнения работ для развертывания сети базовых станций сотовой связи. Исследован также вариант так называемой задачи составления расписаний работы персонала, который естественным образом возникает в рамках предыдущей задачи. Цель состоит в назначении персонала, обладающего различными навыками, на выполнение отдельных заданий, обеспечивая равномерность рабочей нагрузки.

Авторы результата: к.ф.-м.н. Васильев И.Л., к.ф.-м.н. Ушаков А.В.

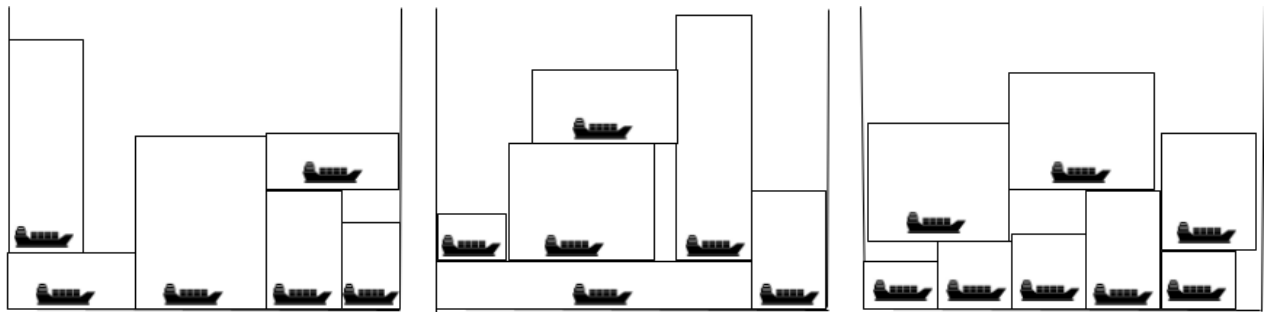


Рис.13. Иллюстрация решений для обобщения задачи о назначении причальных стенок
(по оси абсцисс – размеры судна; по оси ординат – время)

Публикации по результату:

1. Vasilyev I., Ushakov A.V., Zhang D., Ren J. Generalized multiple strip packing problem: Formulations, applications, and solution algorithms // Computers & Industrial Engineering. 2023. V. 178. P. 109096.
2. Vasilyev I., Muftahov I., Ushakov A.V. MIP Heuristics for a Resource Constrained Project Scheduling Problem with Workload Stability Constraints / M. Khachay et al. (eds) // Lecture Notes in Computer Science: MOTOR 2023. 2023. V. 13930. P. 212-223.
3. Davydov I., Vasilyev I., Ushakov A.V. Tabu Search Metaheuristic for the Penalty Minimization Personnel Task Scheduling Problem / M. Khachay et al. (eds) // Communications in Computer and Information Science: MOTOR 2023. V. 1881. P. 109-121.

19. Анализ стойкости криптографических примитивов и поиск комбинаторных структур при помощи алгоритма Cube-and-Conquer

Параллельный алгоритм Cube-and-Conquer, предназначенный для решения трудных экземпляров проблемы булевой выполнимости, был применен для поиска новых систем расширенно самоортогональных диагональных латинских квадратов порядка 10, а также для анализа стойкости криптографической хеш-функции MD5 и блочного шифра Simon32/64.

Криптографические хеш-функции должны быть стойкими к поиску прообразов, т.е. должно быть нереально на практике найти прообраз данного хеша. Функция сжатия (основной компонент) криптографической хеш-функции MD5 состоит из 64 шагов, и до недавнего времени были опубликованы только результаты по поиску прообраза для



усеченной версии этой функции, состоящей из первых 28 шагов. При этом был применен SAT-решатель, основанный на алгоритме CDCL.

Для обращения 29-шаговой функции сжатия MD5 был применен параллельный алгоритм Cube-and-Conquer, который на первом этапе разбивает задачу на более простые независимые подзадачи при помощи lookahead-решателя, а затем на втором этапе решает подзадачи с помощью CDCL-решателя. На первом этапе для указанной задачи сформировано несколько десятков тысяч подзадач, каждая из которых существенно проще исходной. На втором этапе на суперкомпьютере «Академик В.М. Матросов» все подзадачи были решены с помощью современного CDCL-решателя. В результате впервые был найден прообраз для единичного хеша, сгенерированного 29-шаговой функцией сжатия MD5, см. табл. 1.

Таблица 1. Прообраз единичного хеша, сгенерированного 29-шаговой функцией сжатия MD5

M0 = 0x4df4739c	M1 = 0x79e673e7	M2 = 0xdbaa62b4	M3 = 0x658f832b
M4 = 0xf3e5e01f	M5 = 0xc4598cbc	M6 = 0x44f8ed8	M7 = 0xab1d74cd
M8 = 0x2c8fdbc4	M9 = 0xef2f12fb	M10 = 0xd92171f9	M11 = 0x936ce3d5
M12 = 0x387f0bc8	M13 = 0x9376c1bc	M14 = 0x40b9e620	M15 = 0x3ac549e8

Также был исследован блочный шифр Simon32/64, который на основе одного 32-битного блока исходного текста и 64-битного секретного ключа в течение 32 шагов формирует 32 бита шифртекста. До сих пор не представляется возможным провести криптоанализ Simon32/64 в следующей конфигурации: найти секретный ключ на основе двух известных блоков исходного текста (суммарно 64 битов) и 64 битов шифртекста. Ранее с помощью CDCL-решателя был проведен криптоанализ первых 8 шагов этого шифра. В рамках настоящего исследования был рассмотрен 9-шаговый вариант, в котором первые 16 из 64 бит секретного ключа были известны. Для такого варианта криптоанализ был успешно проведен на суперкомпьютере «Академик В.М. Матросов» с помощью Cube-and-Conquer.

В области поиска комбинаторных структур исследована следующая задача. Рассмотрим два латинских квадрата и сформируем третий квадрат путем наложения этих двух квадратов, т.е. в каждой его ячейке находится упорядоченная пара элементов. Если в сформированном квадрате все такие пары элементов уникальны, то соответствующие латинские квадраты ортогональны друг другу. Латинский квадрат является самоортогональным если он ортогонален своей транспонированной версии. Латинский квадрат является расширенно самоортогональным если он ортогонален некоторому изоморфному латинскому квадрату, который может быть получен из исходного путем перестановки строк или столбцов. С помощью Cube-and-Conquer были найдены новые системы расширенно самоортогональных диагональных латинских квадратов порядка 10, которые ранее не были найдены с помощью стандартных комбинаторных алгоритмов.

Автор: к.т.н. Заикин О.С.

Публикации по результату

1. Заикин О.С. Обращение 29-шаговой функции сжатия MD5 при помощи алгоритмов решения проблемы булевой выполнимости // Прикладная дискретная математика. Приложение. 2023. № 16. С. 36-40. DOI: 10.17223/2226308X/16/10 (РИНЦ).



2. Маро Е.А., Заикин О.С. Алгебраический криптоанализ 9 раундов низкоресурсного блочного шифра Simon32/64 // Прикладная дискретная математика. Приложение. 2023. № 16. С. 65-70. DOI: 10.17223/2226308X/16/17 (РИНЦ).

3. Vatutin E., Zaikin O. Classification of Cells Mapping Schemes Related to Orthogonal Diagonal Latin Squares of Small Order // Lecture Notes in Computer Science. 2023. (Web of Science Q4, Scopus Q3).

20. Математическая модель работы однопутного сегмента железнодорожной сети на основе сетей массового обслуживания и с несколькими входящими ВМАР-потоками

Предложена математическая модель движения поездов по железнодорожной сети на основе сетей массового обслуживания (СеМО). Она позволяет описывать работу однопутных участков с частично-пакетным (групповым) графиком движения поездов на них. Исследование такого рода объектов является более сложной задачей, чем ранее рассмотренных двухпутных участков.

В модели для описания входящего поездопотока с отдельного направления используется ВМАР-поток (Branch Markovian Arrival Process), что позволяет учесть в модели поступление пакетов (групп) поездов. В этом случае под заявкой понимается весь поезд, а под группой заявок – пакет. Парки и грузовые пути станции описываются отдельными системами массового обслуживания (СМО), число каналов определяется количеством путей в соответствующем элементе. Распределение времени обслуживания в каналах СМО подбирается в соответствии с пропускной способностью рассматриваемого элемента. Допустимо групповое обслуживание заявок. Это позволяет учесть различные вместимости станций, продолжительность технических операций с поездами и пакетное движение поездов по сети. Для моделирования разных маршрутов, в том числе параллельных и кольцевых, поездов применяется несколько типов заявок, каждый из которых имеет свою маршрутную матрицу.

На основе общей модели были построены и имплементированы стохастические модели железнодорожного узла в г. Ахен (Германия), северного сегмента Улан-Баторской железной дороги (Монголия), пограничного однопутного участка Наушки (Россия) – Сухэ-Батор (Монголия) и Северомуйского участка БАМа.

Авторы: к.т.н. Жарков М.Л., д.ф.-м.н. Казаков А.Л., к.ф.-м.н. Лемперт А.А.

Публикации по результату:

1. Kazakov A., Lempert A., Zharkov M. An approach to railway network sections modeling based on queuing networks // Journal of Rail Transport Planning & Management. 2023. Vol. 27. P. 100404. DOI: 10.1016/j.jrtpm.2023.100404.

2. Kazakov A., Lempert A., Zharkov M. On Modeling a Section of a Single-Track Railway Network Based on Queuing Networks // In: Dudin, A., Nazarov, A., Moiseev, A. (eds) Information Technologies and Mathematical Modelling. Queueing Theory and Applications. ITMM 2022. Communications in Computer and Information Science. 2023. Vol. 1803. P. 40–54. Springer, Cham. P. 266–277. DOI: 10.1007/978-3-031-32990-6_4.

3. Бычков И.В., Казаков А.Л., Жарков М.Л. Применение теории массового обслуживания для моделирования Улан-Баторской железной дороги // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28, №6. С. 17-36. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.6.003



4. Бычков И.В., Жарков М.Л., Казаков А.Л. Железнодорожный транспортный коридор Китай – Монголия – Россия: текущее состояние и перспективы модернизации // В сборнике Трансграничье Востока России в модернизационных процессах XX–XXI вв. (к 100-летию Республики Бурятия). Изд-во БНЦ СО РАН, 2023. С. 7–10.
5. Жарков М.Л., Казаков А.Л., Лемперт А.А. Применение сетей массового обслуживания для моделирования железнодорожных участков с пакетным движением // Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2022): Материалы XX Международной конференции имени А.Ф. Терпугова. Томск: Издательство Томского государственного университета, 2023. С. 283–288.
6. Жарков М.Л., Казаков А.Л., Супруновский А.В. Оценка пропускной способности однопутного участка БАМа с использованием теории массового обслуживания // Вестник ВНИИЖТ. 2023. Т. 82, № 4. С. 370–384. DOI: 10.21780/2223-9731-2023-82-4-370-384.



ПРОЕКТЫ В РАМКАХ ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РФ

В соответствии с Планом НИР и Государственным заданием на 2023 год выполнялись исследования по 6 научным (базовым) темам в рамках двух приоритетных направлений и программ фундаментальных научных исследований в РФ на 2021–2030 гг.

Направление науки: 1.1. Математические науки

Проект «Теория и методы исследования эволюционных уравнений и управляемых систем с их приложениями»

№ гос. регистрации: 121041300060-4

Научный руководитель – чл.-к. РАН А.А. Толстоногов

1. В гильбертовом пространстве рассмотрены вопросы существования и свойств множества решений разрывных процессов выметания, значениями которых являются g -прох регулярные множества. Вариация движущегося множества управляется положительной мерой Радона, а возмущение представляет собой сумму двух многозначных отображений. Значениями первого являются замкнутые, ограниченные, не обязательно выпуклые множества. Оно измеримо по переменной времени и удовлетворяет условию Липшица по фазовой переменной. Значениями второго отображения являются замкнутые, выпуклые, не обязательно ограниченные множества. Мы предполагаем, что это отображение имеет замкнутый график по фазовой переменной. Доказывается существование непрерывных справа решений ограниченной вариации. Если значениями первого возмущения являются выпуклые множества, то множество решений является замкнутым подмножеством в пространстве непрерывных справа функций ограниченной вариации с $\sup$ -нормой. Доказательства базируются на принадлежащей автору теореме о непрерывных относительно параметра селекторах, проходящих через неподвижные точки многозначных отображений с замкнутыми, невыпуклыми разложимыми значениями, зависящими от параметра и критерии компактности (аналог теоремы Арцела-Асколи) множеств в пространстве непрерывных справа функций ограниченной вариации с $\sup$ -нормой. Используется также классическая теорема Ки Фана о неподвижной точке. Все результаты являются новыми (чл.-к. РАН Толстоногов А.А.).

2. В сепарабельном гильбертовом пространстве изучено эволюционное включение с зависящим от времени семейством максимально монотонных операторов. Если элементы минимальной нормы семейства максимально монотонных операторов удовлетворяют условиям роста, то области определения семейства максимально монотонных операторов являются замкнутыми выпуклыми множествами. Поэтому будет определен процесс выметания, значениями которого являются нормальные конусы областей определения максимально монотонных операторов. Доказано, что если процесс выметания при любом однозначном возмущении из пространства интегрируемых функций имеет решение, то этим свойством обладает и эволюционное включение с максимально монотонными операторами и однозначными возмущениями из пространства интегрируемых функций. В терминах свойств семейства максимально монотонных операторов даны самые



общие условия, обеспечивающие существование решений процесса выметания. Все полученные результаты, а также предлагаемый подход являются новыми. Они используются для доказательства теоремы существования решений эволюционного включения с многозначным возмущением, значениями которого являются замкнутые невыпуклые множества (чл.-к. РАН Толстоногов А.А.).

3. Рассмотрена нестационарная линейная дискретная дескрипторная система с прямоугольными матричными коэффициентами, определенная на конечном горизонте. Получен ответ на вопрос, какое наибольшее число искомым векторов можно найти из заданного конечного числа уравнений? С такой же точки зрения изучается разрешимость нестационарных линейных систем с непрерывным и дискретным временем, а также (в локальном смысле) нелинейных дискретных систем. Предложенный подход может быть использован для пошагового нахождения решения. Показано, что в тех случаях, когда рассматриваемая линейная или нелинейная система сохраняет внутреннюю структуру, возможно нахождение ее решений на бесконечном горизонте. Это обстоятельство позволяет получить явное представление для общего решения такой системы. Используемый подход обладает достаточной общностью и автоматически решает проблему согласования начальных данных. Он может быть использован для исследования качественных свойств таких систем (д.ф.-м.н. Щеглова А.А.).

4. Рассмотрена линейная система дифференциально-алгебраических уравнений (ДАУ), матричные коэффициенты которой зависят от векторного параметра, принадлежащего заданному допустимому множеству. Для рассматриваемого параметрического семейства построены структурные формы, в которых разделены дифференциальная и алгебраическая части. Показано, что робастная устойчивость семейства ДАУ равносильна робастной устойчивости его дифференциальной подсистемы. Найдены достаточные условия на структуру возмущений, при которых в процессе разделения ДАУ на алгебраическую и дифференциальную составляющие сохраняется тип функциональной зависимости от неопределенных параметров. Получены достаточные условия робастной устойчивости на основе построения квадратичной функции Ляпунова (д.ф.-м.н. Щеглова А.А.).

5. Установлены взаимосвязи идеальных импульсно-скользящих режимов систем с позиционными импульсными управлениями и скользящих режимов систем с разрывными обратными связями, что позволили рассмотреть их комбинированное применение. В рамках прямого метода функционалов Ляпунова-Красовского исследовано асимптотическое поведение разрывных неавтономных систем с запаздыванием в форме аналогов принципа инвариантности (д.ф.-м.н. Финогенко И.А.).

6. Рассмотрен класс дифференциально-алгебраических уравнений (ДАУ) с нелинейностью в виде гистерезиса (моделируемого процессом выметания). Такие системы возникают при моделировании различных физических процессов, в частности, при описании нерегулярных электрических схем. Для них построена эквивалентная (в смысле совпадения множеств решений) структурная форма, и доказаны необходимые и достаточные условия разрешимости начальной задачи (к.ф.-м.н. Петренко П.С.).

7. Рассмотрены линейные ДАУ, то есть линейные системы обыкновенных дифференциальных уравнений произвольного порядка с тождественно вырожденной в



области определения матрицей при старшей производной искомой вектор-функции. Исследован общий случай систем с прямоугольными матрицами коэффициентов. Под вырождением понимается наличие неполного ранга матрицы при старшей производной искомой вектор-функции. Указан алгоритм, сводящий произвольное исходное ДАУ с вещественно-аналитическими входными данными к системе с квази-верхнетреугольной структурой; выделен класс ДАУ, для которых можно указать условия разрешимости на всем отрезке определения; формализовано понятие особых точек, дана их классификация; указаны достаточные критерии присутствия особых точек в области определения; произведен анализ наиболее надежных численных методов и исследовано применение метода наименьших квадратов (д.ф.-м.н. Чистяков В.Ф., к.ф.-м.н. Чистякова Е.В.).

8. Для дифференциально-алгебраических уравнений второго порядка в терминах матричных полиномов получены достаточные условия существования единственного решения и предложены многошаговые разностные схемы. Конкретные двухшаговый и трехшаговый методы первого и второго порядка программно реализованы в среде MathLab. Выполнены расчеты тестовых задач, подтверждающие сходимость рассмотренных методов (д.ф.-м.н. Булатов М.В., к.ф.-м.н. Соловарова Л.С.).

9. В рамках проекта был разработан алгоритм спуска для задачи оптимального управления транспортным уравнением в классе неограниченных (импульсных) управлений, основанный на так называемой точной формуле приращения. В отличие от стандартного алгоритма градиентного спуска, предложенный метод не требует дополнительной, вычислительно затратной, процедуры подбора шага спуска. Отметим, впрочем, что переход к точным формулам приращения не бесплатен: поскольку точные формулы оперируют управляющими стратегиями с обратной связью, то для поиска направления спуска, вместо линейного уравнения, нам приходится решать нелинейное уравнение с нелокальными (зависящими от текущего распределения) членами. Алгоритм был реализован на языке Julia и показал свою эффективность на тестовых примерах (к.ф.-м.н. Старицын М.В., к.ф.-м.н. Погодаев Н.И., к.ф.-м.н. Гончарова Е. В.).

10. Изучена нелинейная управляемая система дифференциальных уравнений в частных производных в рамках концепции «хищник–жертва–пища для жертвы». Наша система учитывает ситуацию, когда зависимость плотности растительности от плотности жертвы и хищников имеет гистерезисный характер. В то же время, область произрастания растительности фиксирована, что является разумным предположением во многих биологических моделях, представляющих практический интерес. При минимальном наборе требований к функциям, определяющим область гистерезиса, доказано существование решения для соответствующей (неуправляемой) системы. Затем установлено существование решений для системы управления и получен принцип «бэнг–бэнг» для нее. Последний устанавливает аппроксимацию заданного решения управляемой системы экстремальными решениями (к.ф.-м.н. Тимошин С.А.).

11. Рассмотрена невыпуклая задача оптимального управления для системы дифференциальных уравнений в частных производных. Данная нелинейная система управления может быть интерпретирована в рамках динамики популяций, когда наряду с диффузионными и гистерезисными эффектами в эволюции рассматриваемых биологических видов учитываются также миграционные эффекты. Доказано существование почти



оптимального решения нашей задачи оптимального управления с помощью свойств релаксационного типа, которые были установлены для заданных функционала и системы управления (к.ф.-м.н. Тимошин С.А.).

12. Рассмотрены линейные многомерные дифференциально-алгебраические системы. Для численного решения таких систем на компьютерном языке Си++ написаны программы, реализующие локально-одномерный метод и векторно-аддитивный метод Абрашина В.Н. Доказано, что для дифференциально-алгебраических систем локально-одномерный метод является устойчивым, но не обладает суммарной аппроксимацией. Векторно-аддитивный метод Абрашина В.Н. напротив аппроксимирует дифференциально-алгебраическую систему, но теряет свойство устойчивости в случае вырождения матричного коэффициента при производной по времени. В связи с этим рассмотрен подход численного решения линейных многомерных дифференциально-алгебраических систем, основанный на регуляризации операторно-разностной схемы. Для численного решения операторно-разностной схемы, записанной в нормальной форме Коши, применяется векторно-аддитивный метод Абрашина В.Н. Этот подход реализован на примере линейной двумерной системы уравнений акустики индекса 2 (к.ф.-м.н. Свинина С.В.).

13. Для динамических задач оптимального управления без фазограничений доказано необходимое условие глобальной оптимальности в форме общего позиционного принципа минимума с гладкой по состоянию нелинейной опорной мажорантой (слабо убывающего решения неравенства Гамильтона-Якоби). Естественным критерием опорности произвольной мажоранты оказывается совпадение её градиента (вдоль исследуемой траектории) с соответствующим решением сопряженной системы. Тем самым возникает семейство (по опорным мажорантам) позиционных принципов минимума. Результаты имеют место для задач с дискретным принципом максимума, который оказывается существенно усиленным (д.ф.-м.н. Дыхта В.А.).

14. Разработана серия процедур, повышающих эффективность методов итерационного спуска на основе позиционного принципа минимума в дифференциальных задачах оптимального управления. Эти процедуры охватывают случай множественности экстремальных стратегий используемой мажоранты, улучшение путем частичного овыпукления системы при «застревании» итераций на нескольких базовых управлениях, использование антирегуляризации – возмущение функционала вогнутым дестабилизатором, – спуск со скользящего режима, т.е. с обобщенного процесса задачи. Все эти ситуации иллюстрированы серией примеров (д.ф.-м.н. Дыхта В.А.).

15. Получены необходимые и достаточные условия оптимальности импульсных процессов в задаче с промежуточными фазовыми ограничениями. Для билинейной управляемой системы получена составная функция типа Ляпунова, задающая точное описание множества достижимости. Это позволило конкретизировать условия оптимальности и построить задачу математического программирования на множестве точек, соединимых допустимыми траекториями исходной задачи. Предложен алгоритм численного решения задачи. Алгоритм реализован на языке программирования Julia при помощи пакета JuMP (к.ф.-м.н. Самсонюк О.Н.).

16. Разработан алгоритм спуска для задачи оптимального управления транспортным уравнением в классе неограниченных (импульсных) управлений, основанный



на так называемой точной формуле приращения. В отличие от стандартного алгоритма градиентного спуска, предложенный метод не требует дополнительной, вычислительно затратной, процедуры подбора шага спуска. Точные формулы оперируют управляющими стратегиями с обратной связью, что требует решения нелинейного уравнения с нелокальными (зависящими от текущего распределения) членами. Алгоритм был реализован на языке Julia и показал свою эффективность на тестовых примерах (к.ф.-м.н. Гончарова Е.В., к.ф.-м.н. Погодаев Н.И., к.ф.-м.н. Старицын М.В.).

17. Проведена реализация алгоритма оптимального управления гиперимпульсной системой в среде Python с привлечением пакета Ipopt для решения подзадач параметрического поиска. Подход включает преобразование импульсной системы к эквивалентной классической задаче с ограничениями специального вида. Алгоритм протестирован на модельной задаче управления двухзвенным маятником с закрепленным основанием с помощью вибраций базового звена. Качественный характер результатов отвечает физической природе модели (к.ф.-м.н. Гончарова Е.В., к.ф.-м.н. Старицын М.В.).

18. Реализованы и апробированы на примерах численные алгоритмы улучшения управления, основанные на позиционных принципах минимума с линейными опорными мажорантами. Были рассмотрены линейные и квадратичные академические и простейшие модельные примеры, – в том числе, логистические модели распространения инфекций, модели поведения трейдера и модель борьбы с лесными пожарами. Алгоритмы реализовывались как в электронных таблицах, так и на языке программирования Python. Полученные результаты показали эффективность разрабатываемых методов для билинейных и квадратичных задач (к.ф.-м.н. Сорокин С.П.).

19. Для нелинейных управляемых систем разработана методика построения внутренней аппроксимации множества достижимости в условиях существенного влияния на динамику последующих компонент модели, в которых постоянность запаздывания не гарантирована. В основу реализованного алгоритма положен метод Ритца, сводящий исходную постановку к большой задаче математического программирования по поиску коэффициентов аппроксимирующих кубических сплайнов. Для получения достаточно объемных внутренних аппроксимаций множества достижимости применена технология «бегущей волны», позволяющая получать результаты, близкие к оптимальным, при относительно небольших вычислительных затратах (д.т.н. Горнов А.Ю., к.т.н. Зароднюк Т.С., д.т.н. Тятюшкин А.И.).

20. Предложен подход к построению границы невыпуклых множеств достижимости, основанный на формировании последовательности управляющих воздействий релейного типа. Данное семейство включает релейные управления, для построения которых используется равномерное разбиение временного интервала и точки переключения, последовательно пробегающие все узлы сформированной сетки в прямом и обратном направлении. Для корректного использования предложенного подхода необходима линейность системы дифференциальных уравнений относительно управления – это позволяет обеспечить попадание траектории системы в конечный момент времени на границу множества достижимости (д.т.н. Горнов А.Ю., к.т.н. Зароднюк Т.С.).

21. Разработана технология численного решения начально-краевых задач в нелинейных системах с переменным запаздыванием. Основой подхода является редукция



исходной проблемы к конечномерной аппроксимирующей задаче с использованием неравномерных сеток. В качестве траекторного аппроксимирующего инструмента выбраны управляемые кубические сплайны, в которых варьируемыми являются не только значения в узлах сетки, но также и краевые условия. Оценка невязок выполняется специализированными функционалами двух типов – как дифференцируемыми («наименьших квадратов»), так и негладкими («наименьших модулей»). Для отыскания минимума сформированных функционалов, в общем случае невыпуклых, реализована многометодная алгоритмическая схема, основанная на взаимодействующих безградиентных алгоритмах – методах партан и покоординатного спуска, Пауэлла–Брента, Лууса–Якобы, глобализованного поиска в подпространствах малой размерности (д.т.н. Горнов А.Ю., к.т.н. Аникин А.С., к.т.н. Зароднюк Т.С.).

22. Предложена вычислительная технология решения задач невыпуклой оптимизации, основанная на уравнении Ланжевена. Реализованный вариант базового алгоритма градиентного типа включает, подобно методу имитации отжига, монотонно уменьшающийся до нуля с управляемой скоростью эндогенный параметр, по аналогии называемый температурой. Градиентный шаг также устанавливается алгоритмическим параметром, но регулярно корректируется путем добавления «ланжевенского» возмущения. Проведено сравнительное тестирование реализованного алгоритма в сопоставлении с рядом сходных методов биоинспирированного типа – алгоритмами биогеографии, роевого интеллекта, «кукушки», «серых волков», генетическими и другими. Выполненные вычислительные эксперименты подтвердили конкурентоспособность реализованной технологии (д.т.н. Горнов А.Ю., к.т.н. Сорокинов П.С.).

Проект «Аналитические и численные методы математической физики в задачах томографии, квантовой теории поля и механике жидкости и газа»

№ гос. регистрации: 121041300058-1

Научный руководитель – д.ф.-м.н. Ю.А. Марков

1. Предложена гамильтонова теория для коллективных продольно поляризованных глюонных возбуждений (плазмонов), взаимодействующих с классической высокоэнергетической пробной цветозаряженной частицей, распространяющейся через высокотемпературную глюонную плазму. Представлено обобщение скобки Ли-Пуассона случай сплошной среды с бозонной нормальной полевой переменной $\hat{a}_k^a$ и неабелевым цветовым зарядом Q^a и приведены соответствующие уравнения Гамильтона. Выписаны канонические преобразования, включающие одновременно как бозонные степени свободы мягких коллективных возбуждений, так и степени свободы жесткой пробной частицы, связанной с ее цветовым зарядом в горячей глюонной плазме. Выведена полная система условий каноничности для этих преобразований. Введено понятие плотности числа плазмонов $\mathcal{N}_k^{aa'}$, которая является нетривиальной матрицей в цветовом пространстве. Получена явная форма эффективного гамильтониана четвертого порядка, описывающего упругое рассеяние плазмона на жесткой цветозаряженной частице и найдена



самосогласованная система кинетических уравнений больцмановского типа, учитывающая временную эволюцию среднего значения цветового заряда жесткой частицы. На основе этих уравнений рассмотрена модельная задача взаимодействия двух бесконечно узких волновых пакетов. Получена система нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка, определяющая динамику взаимодействия бесцветной N_k^l и цветовой W_k^l компонент плотности числа плазмонов. Обсуждена задача определения коэффициентных функций третьего и четвертого порядка, входящих в канонические преобразования исходной бозонной переменной $\hat{a}_k^a$ и цветового заряда Q^a . С помощью полученных коэффициентных функций выписана полная эффективная амплитуда упругого рассеяния плазмона на жесткой пробной частице (д.ф.-м.н. Марков Ю.А., д.ф.-м.н. Маркова М.А., Марков Н.Ю.).

2. Для нелинейных дифференциальных уравнений с частными производными и систем, являющихся моделями механики сплошных сред и статистической физики, разработаны новые приближенные численно-аналитические способы построения решений, основанные на применении метода коллокаций в сочетании с разложением по радиальным базисным функциям, что позволяет раскрыть особенность. При этом решение строится по шагам по времени при разностной схеме дискретизации времени. Для неодномерных задач используется также метод нулевого поля применительно к областям с отверстиями. Были рассмотрены двумерное нелинейное уравнение теплопроводности, система типа реакция-диффузия и система Власова-Максвелла-Фоккера-Планка.

Рассмотрена задача об инициировании диффузионной волны заданным краевым режимом для системы двух параболических уравнений. Показано, что подобное решение для системы имеет более сложную, чем в случае одного уравнения, структуру, и состоит из трех частей. Это является следствием того, что нулевые фронты для искоемых функций различны. Доказана теорема существования и единственности кусочно-аналитического решения рассмотренной задачи, которое представлено в виде специальных рядов. Найдено точное решение искомого вида, построение которого сводится к интегрированию обыкновенных дифференциальных уравнений. Последние удалось проинтегрировать в квадратурах. Выполнены иллюстрирующие численные расчеты, для верификации результатов которых использованы найденные точное решение и отрезки рядов (д.ф.-м.н. Казаков А.Л., к.ф.-м.н. Кузнецов П.А.).

3. В рамках кварковой модели исследованы возможные поправки в процесс распада мезона на два фотона и кварковый конденсат от мезонных поправок. Для этого использована схема разложения по обратному числу кварковых цветов в эффективной нелокальной модели. В результате спонтанного нарушения симметрии в приближении среднего поля у кварка появляется масса, которая зависит от его импульса, а возможные вклады с участием мезонных петель вычисляются как поправки, основываясь на формальном счёте $1/N_c$ индексов для диаграмм (д.ф.-м.н. Раджабов А.Е.).

4. Доказано тождество, обобщающее тождество Вайды для последовательности многочленов Люка, соответствующее циклу любой длины. Для любой линейной последовательности второго порядка показано, что она является Сомос-4 последовательностью. Найдено тождество, связывающее любую такую последовательность с сопутствующей эллиптической последовательностью (companion elliptic sequence). Доказана теорема, обобщающая теорему ван дер Пуртена-Сворт о том, что общая Сомос-4



последовательность удовлетворяет любому из трехчленных уравнений Гейла-Робинсона с подходящими коэффициентами. Также доказана теорема о том, что любая подпоследовательность общей Сомос-4 последовательности, где номер каждого члена принадлежит произвольной арифметической последовательности, также является Сомос-4 последовательностью.

Получено решение задачи Коши для цепочки Вольтерра для специальных начальных условий, связанных с произвольной линейной последовательностью второго порядка. Решение цепочки Вольтера выражается через решение специального уравнения Рикатти. Показана связь этого решения с числами Эйлера первого рода и соответствующими многочленами Эйлера (к.ф.-м.н. Свинин А.К.).

5. Исследовались уравнения и системы эллиптического типа со степенными нелинейностями. Такие уравнения встречаются при моделировании распределенных формаций роботов, в химической кинетике, в биологии, астрофизике и многих других областях. Изучалась задача построения многомерных точных решений. Было предложено использовать специального вида анзацы, сводящие задачу к решению систем алгебраических уравнений. Получен ряд многопараметрических семейств новых точных многомерных решений (как радиально симметричных, так и анизотропных), представимых явными формулами. Приводятся примеры, иллюстрирующие найденные точные решения.

Исследовался многомерный случай нелинейной системы реакции–диффузии, моделируемый системой двух уравнений параболического типа со степенными нелинейностями. Такого рода системы можно применять для моделирования процесса распространения в пространстве взаимодействующих распределенных формаций роботов двух типов. Такие уравнения описывают также процессы нелинейной диффузии в реагирующих двухкомпонентных сплошных средах. Предложен оригинальный вариант метода редукции, сводящий построение зависимости точного решения от пространственных переменных к решению уравнения Гельмгольца, а зависимости от времени – к решению линейной системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Построен ряд примеров многопараметрических семейств точных решений, задаваемых элементарными функциями (к.ф.-м.н. Семенов Э.И.).

6. Было предложено расширение $U(1)$ модели векторного портала на $SU(2)$ случай симметрии. Получены ограничения на параметры новых заряженных и нейтральных бозонов (массы, константы взаимодействия, ширины распадов и т.п.) из данных на неопределенность константы Ферми из разных измерений, а также для ограничений использованы данные по ограничению на лептон-флэйвор нарушенных распадов лептонов.

Получены ограничения на модель векторного портала с фермионами темной материи из невидимой моды распада векторного ρ -мезона. Получена оценка выхода ρ -мезонов в эксперименте NA64 с рассеянием заряженных пионов на фиксированной мишени. Выход ρ -мезонов был вычислен с учетом экспериментальных ограничений на возможность использования методики потери энергии. Для энергии пучка 50 ГэВ полученные ограничения – слабые. Более выгодным для исследования невидимой моды путем методики потери энергии является использование более низких энергий пучка пионов (к.ф.-м.н. Жевлаков А.С.).



7. В рамках нелокальной кварковой модели рассмотрен вклад аксиально-векторных мезонов в аномальный магнитный момент мюона от процесса рассеяния света-на-свете. Модель основана на четырехкварковом взаимодействии со скалярным – псевдо-скалярным и векторным – аксиально-векторным секторами. Поперечная компонента аксиально-векторного мезона соответствует частице со спином 1, а нефизическая продольная компонента – спину 0 и смешивается с псевдоскалярным мезоном. Параметры модели переопределены на основании свойств пионов в присутствии смешивания $\pi - a_1$. Полученная оценка для вклада $a_1 + f_1$ мезонов составляет порядка $(3.6 \pm 1.8) \cdot 10^{-11}$ (д.ф.-м.н. Раджабов А.Е., к.ф.-м.н. Жевлаков А.С.).

Проект «Качественный анализ динамических свойств и синтез управлений механическими системами с развитием средств компьютерной алгебры и средств численной реализации с приложением к проблемам управления и динамики космических аппаратов»

№ гос. регистрации: 121041300056-7

Научный руководитель – д.ф.-м.н. А.В. Лакеев

1. В геометрической структуре континуального пучка управляемых динамических процессов проведено изучение функционально-геометрических условий существования нестационарных коэффициентов-операторов из дифференциальной реализации этого пучка в классе неавтономных билинейных дифференциальных уравнений второго порядка в сепарабельном гильбертовом пространстве. Рассматриваемая задача относится к типу нестационарных коэффициентно-операторных обратных задач для билинейных эволюционных уравнений в гильбертовом пространстве. Решение строится на базе использования функционального оператора Релея–Ритца. В этой математической постановке подробно изучен случай, когда моделируемые операторы обременены условием, обеспечивающим вполне непрерывность интегрального представления уравнений модели реализации. Предложена энтропийная интерпретация данной задачи математического моделирования континуального пучка динамических процессов, в контексте развития качественной теории дифференциальной реализации нелинейных уравнений состояния сложной бесконечномерной динамической системы. На базе символьных вычислений приведены расчеты условий существования нестационарных коэффициентов-операторов из дифференциальной реализации (д.ф.-м.н. Русанов В.А., д.ф.-м.н. Лакеев А.В., к.ф.-м.н. Банщиков А.В.).

2. На основе анализа свойств полуаддитивности и непрерывности нелинейного функционального оператора Релея–Ритца исследована разрешимость задачи реализации оператор-функций инвариантного полилинейного регулятора (IPL-регулятора) дифференциальной системы (D-системы) высшего порядка в бесконечномерном сепарабельном гильбертовом пространстве. Аналитическая модель IPL-регулятор позволяет для двух пучков траекторных кривых, индуцированных в D-системе двумя разными полилинейными регуляторами, объединить эти пучки через IPL-воздействие в подсемейство допустимых решений данной D-системы. Рассматриваемая задача относится к типу



нестационарных коэффициентно-операторных обратных задач для полилинейных эволюционных уравнений с динамическим порядком выше первого, в том числе неавтономных гиперболических систем. Полученные результаты имеют приложение в качественной теории нелинейных бесконечномерных адаптивных систем управления, описываемых полилинейными неавтономными D-системами высших порядков (в том числе в области нелинейного нейромоделирования) (д.ф.-м.н. Лакеев А.В., д.ф.-м.н. Русанов В.А.).

3. Для нелокального принципа линеаризации динамики сложных систем на базе проективизации нелинейного функционального оператора Релея–Ритца и тензорного произведения вещественных гильбертовых пространств, для конечного пучка интегральных кривых управляемой билинейной системы второго порядка, определены необходимые и достаточные условия существования дифференциальной реализации этого пучка в классе линейных нестационарных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка (в том числе гиперболических моделей) в сепарабельном гильбертовом пространстве. При этом исходная билинейная структура моделирует нелинейность динамики системы, как самой траектории, так и скорости движения на этой траектории. Полученные результаты имеют приложения в теории обратных задач нестационарных управляемых полилинейных дифференциальных моделей высших порядков (д.ф.-м.н. Лакеев А.В., д.ф.-м.н. Русанов В.А.).

4. На данном этапе исследований рассмотрена многоуровневая (много факторная) процедура апостериорного построения нелинейной трехвалентной многомерной тензорно-регрессионной модели для аналитического исследования необходимых и достаточных условий оптимизации технологического расчета многофакторных химико- физических операций упрочнения сложных композитных сред металлопокрытий (а также метаматериалов). Предложен адаптивно-апостериорный алгоритм параметрического формирования целевого функционала качества интегративных физико-механических свойств проектируемого композитного металлопокрытия. Результаты исследования могут служить базовыми элементами математического языка при создании автоматизированного проектирования прецизионных нанотехнологий упрочнения поверхностей сложных композитных металлопокрытий на базе группового учета многофакторных трибологических, а также противокоррозийных, испытаний. При этом одной из основных задач (при стремлении к формальной строгости проводимого нелинейного математического моделирования) является комплексность исследования общих проблем аналитической трибологии, связанных с прецизионным моделированием наноструктур сложных композитных металлопокрытий. Обосновывается апостериорная тензорно-регрессионная модель для трибологических и противокоррозийных испытаний, построенная на базе метода наименьших квадратов для уравнений многомерной тензорной регрессии, в которой в качестве дополнительного целевого функционала используется оценка минимальной тензорной нормы функциональных операторов системы. Такой подход благодаря возможностям, которые открываются для применения многомерного тензорно-регрессионного анализа, а также большому количеству вычислительных задач в этой области, приобретает большое (расширенное) значение в задачах прецизионной многофакторной нелинейной оптимизации процессов упрочнения композитных металлопокрытий, а также многоцелевого синтеза метаматериалов (д.ф.-м.н. Русанов В.А.).



5. Разработана и зарегистрирована программа для построения в символьном виде на компьютере нелинейных уравнений движения систем, состоящих из взаимосвязанных абсолютно твердых тел. Механическая система имеет неголономные связи (кинематические неинтегрируемые соотношения). Связи предполагаются линейными, однородными и стационарными. Пользователь формирует символьное описание конкретной неголономной системы, используя формализм Лагранжа. В качестве уравнений движения используются дифференциальные уравнения в форме Эйлера-Лагранжа в квазикоординатах. Программа представляет собой набор интерактивных модулей (пакетов), выполняемых в режиме интерпретации в среде системы компьютерной алгебры «Mathematica» (к.ф.-м.н. Банщиков А.В.).

6. Проведен качественный анализ семейства дифференциальных уравнений [1], полученного в результате обобщения классических интегрируемых случаев динамики твердого тела. При определенных ограничениях на параметры семейства дифференциальные уравнения описывают движение твердого тела в центральном поле сил, идеальной жидкости, электрически заряженного тела. Для анализа задачи применялись обобщения метода Рауса-Ляпунова и программные средства компьютерной алгебры. Найдены стационарные решения и инвариантных многообразий различной размерности. Показано, что все найденные решения принадлежат инвариантным многообразиям максимальной размерности. Проведено исследование их устойчивости по Ляпунову. Для части стационарных решений получены достаточные условия устойчивости и сопоставлены с необходимыми, для остальных доказана устойчивость по части переменных или неустойчивость по первому приближению (д.ф.-м.н. Иртегов В.Д., к.т.н. Титоренко Т.Н.).

7. Проведен качественный анализ дифференциальных уравнений, описывающих вращение вокруг неподвижной точки динамически несимметричного твердого тела, заключенного жестко в сферическую оболочку, к которой примыкает один шар и один диск. Шар и диск представляют механическую реализацию неголономных связей, наложенных на тело. Движение системы исследовалось как под действием потенциальных сил, так и по инерции. Для уравнений движения в обоих случаях указаны семейства положений равновесия, движения типа колебаний и инвариантные многообразия, которым эти решения принадлежат. Проведен анализ их устойчивости по Ляпунову. Для ряда решений получены достаточные условия устойчивости и сопоставлены с необходимыми (д.ф.-м.н. Иртегов В.Д., к.т.н. Титоренко Т.Н.).

8. Завершено исследование устойчивости стационарных движений в системе с частным интегралом Горячева-Чаплыгина. Вторым методом Ляпунова установлены достаточные условия устойчивости найденных положений покоя. Они соответствуют известной теореме Лагранжа об устойчивости при минимуме потенциальной энергии. При этом, для исследования устойчивости стационарных движений, оказалось достаточно использовать только квадратичные слагаемые отклонений от состояния покоя (д.ф.-м.н. Новиков М.А.).

9. Изучены условия возникновения частных интегралов Стеклова-Бобылева. Для отдельно выбранного значения $r = 0$ из дифференциальных уравнений движения следует первый интеграл $Am \gamma_1^2 + 2(A - B)q_0^2 \gamma_2 = const$, существующий при $A \neq B$. Так же для



частного значения $p = 0$ при $B \neq C$ возникает первый интеграл $Am\gamma_3^2 - 2(B - C)q_0^2\gamma_2 = const$. Наибольшее число частных интегралов Стеклова-Бобылева существует для динамически несимметричного твердого тела.

Проведенный анализ показал, что достаточным условием существования хотя бы одного из частных интегралов Стеклова — Бобылева в твердом теле является выполнение хотя бы одного из условий $B \neq A$ или $B \neq C$. Приведенное в соотношение $B = 2A$ является приемлемым для существования хотя бы одного из частных интегралов. При условии $B \neq A$ или $B \neq C$ возможны дополнительные частные интегралы Стеклова — Бобылева. Наибольшее возможное число дополнительных интегралов, в том числе два из них Стеклова — Бобылева, допускается для несимметричного твердого тела, а также для динамически симметричного тела, у которого центр масс смещен относительно начала координат вдоль оси симметрии. Для динамически симметричного твердого тела, имеющего смещение центра масс относительно начала координат не по оси симметрии, число дополнительных интегралов будет меньшим, притом только один из них будет частным интегралом Стеклова — Бобылева. Наименьшее число возможных дополнительных интегралов возникает для шара, где нет частных интегралов Стеклова — Бобылева (д.ф.-м.н. Новиков М.А.).

Направление науки: 1.2. Компьютерные и информационные науки

Проект «Технологии разработки и анализа предметно-ориентированных интеллектуальных систем группового управления в недетерминированных распределенных средах»

№ гос. регистрации 121032400051-9

Научный руководитель – ак. И.В. Бычков

1. В неделимом соавторстве с Семеновым Э.И. изучен многомерный случай нелинейной системы реакции-диффузии, моделируемый системой двух уравнений параболического типа со степенными нелинейностями. Такого рода системы применяются для моделирования процесса распространения в пространстве взаимодействующих распределенных формаций мобильных роботов двух типов. Предложен оригинальный вариант метода редукции, сводящий построение зависимости точного решения от пространственных переменных к решению уравнения Гельмгольца, а зависимости от времени — к решению линейной системы обыкновенных дифференциальных уравнений (к.ф.-м.н. Косов А.А.).

2. Изучены уравнения движения гиростата Горячева–Сретенского. Установлено, что одна компонента вектора угловой скорости совершает колебания с нулевым средним значением на всех решениях вне множества нулевого уровня интеграла площадей. Найдены все стационарные решения, включающие два состояния покоя и два параметрических семейства перманентных вращений. Методом интегральных связей Четаева получены достаточные условия устойчивости стационарных решений. На основе анализа корней характеристического уравнения получены условия неустойчивости. Установлена



возможность гироскопической стабилизации за счет момента циркулярно-гироскопических сил при определенных условиях (к.ф.-м.н. Косов А.А.).

3. Предложен эвристический подход к планированию движения распределенной группы мобильных роботов при кооперативном выполнении обследовательских задач с требуемым уровнем ситуационной осведомленности. Главная идея подхода заключается в том, чтобы при планировании группового движения сформировать особую структуру индивидуальных маршрутов всех роботов, которая обеспечила бы требуемую частоту и объем межагентной передачи данных. Регулярная коммуникация внутри группы в этом случае позволит не только поддерживать актуальность знаний роботов о состоянии среды функционирования и всех остальных членов группы, но и обеспечит функциональную возможность для оперативного реагирования на любые непредвиденные изменения и события высокой значимости, возникающие в процессе выполнения задачи.

Согласно предложенной схеме, формируемые маршруты должны иметь кольцевой (циклический) характер и идентичную длительность, гарантируя одновременное возвращение всех роботов на первоначальные позиции по завершению каждого этапа (цикла) обследования. При этом, первоначальные позиции должны быть выбраны таким образом, чтобы гарантировать возможность проведения сеанса связи внутри всей группы (напрямую или опосредованно) с учетом ограниченной дальности действия коммуникационного канала. Это может обеспечиваться как за счет намеренного выбора всех начальных позиций в пределах некоторой общей окрестности, так и путем установки в удаленных позициях дополнительного коммуникационного оборудования (маяки, буи и т.д.), увеличивающего дальность передачи данных. Вторым необходимым критерием таких маршрутов является потребность в передаче данных между различными роботами уже в процессе совершения обследования. Для этого все маршруты должны формироваться так, чтобы траектории движения разных роботов имели общие точки (области) пересечения, где они могли бы обмениваться накопленной информацией. Требование к количеству таких пересечений в рамках каждого маршрута и определяет степень ситуационной осведомленности группы в целом.

В рамках разработанного подхода осуществлена формализация описанных требований в терминах класса задач маршрутизации транспорта; разработан эволюционный подход, осуществляющий генерацию допустимых групповых траекторий, удовлетворяющих всем приведенным требованиям; проведены вычислительные эксперименты, подтвердившие работоспособность и эффективность подхода (Кензин М.Ю., ак. Бычков И.В., к.т.н. Максимкин Н.Н.).

4. Для преодоления проблемы роста размерности конечных автоматов как промежуточных структур, возникающих при применении существующих алгоритмов теории супервизорного управления (ТСУ) дискретно-событийными системами (ДСС), широко применяются автоматные абстракции, то есть часть событий системы исключается из рассмотрения при условии эквивалентности исходной и редуцированной структур. Например, в иерархической системе управления события нижнего уровня управления являются предметом абстрагирования для супервизора верхнего уровня при сохранении эквивалентности поведения системы, что позволяет существенно сократить вычислительные затраты на построение управления. Рациональный выбор событий, подлежащих



исключению, остается нерешенной задачей, и зависит от рассматриваемой эквивалентности. Для построения автоматных абстракций адаптирован оригинальный метод автоматического доказательства теорем в исчислении позитивно-образованных формул (ПОФ). Разработаны общие принципы построения ПОФ для проверки редуцированных моделей на удовлетворение требований бисимуляции и маркирующей бисимуляции, а также ряда других известных автоматных абстракций. Существенно используются новые возможности прувера Bootfrost, предназначенного для опровержения ПОФ, такие как списки элементов и операции над списками, а также ряд вычисляемых предикатов. Подход позволяет обеспечить масштабируемость системы управления при построении децентрализованного супервизора для управления группой наземных роботов (Давыдов А.В., Ларионов А.А., к.ф.-м.н. Нагул Н.В.).

5. Разработано описание языка позитивно-образованных формул (ПОФ) с добавлением темпоральных операторов (например, “всегда”, “когда-то” и “в будущем”) и исследованы способы обработки таких формул в исчислении ПОФ. Как известно, семантика любой формулы темпоральной логики определяется на основе специального размеченного графа переходов, который называется моделью Крипке. На текущем этапе проекта рассмотрено специальное представление моделей Крипке, при которой для конкретной модели строится ПОФ, имитирующая формализованные с её помощью процессы. ПОФ строятся на основе разработанного на предыдущих этапах проекта способа представления и исследования дискретно-событийных систем (ДСС) при помощи автоматов Бюхи. Переходы автоматов, множества событий и состояний задаются специальными предикатами в базе фактов соответствующих ПОФ, а за построение языков, соответствующих данным автоматам, отвечает специальное правило вывода. Для учета узлов модели Крипке, помеченных темпоральными операторами, используются правила вывода, меняются. На основе информации, добавляемой в ходе построения вывода для обычных автоматов Бюхи, такие правила корректируют возможность добавления атомов в базу, таким образом имитируя функционирование соответствующей модели Крипке. При этом показано, что темпоральная семантика исчисления ПОФ полностью основана на его обычной семантике, поэтому свойства корректности и полноты наследуются от обычного варианта исчисления.

При проведении исследований активно использовалась программная система автоматического опровержения ПОФ (прувер) “Bootfrost”, которая была доработана с учетом требований совместимости с другими инструментами и средами программирования, чтобы позволить исследователям легко интегрировать её в свои рабочие процессы и использовать для решения задач. Был разработан API на основе формата JSON, при помощи которого можно осуществлять отображение вывода в системе DES-PCFtools.

Реализована система транзакций, которая позволяет регистрировать и откатывать любые изменения, происходящие в процессе поиска логического вывода. Также данная версия прувера специализирована для защищённых ПОФ. Хотя это и ограничивает класс решаемых задач, тем не менее, в прикладных задачах и задачах, связанных с динамическими системами, обычно используются только такие формулы. Защищёнными ПОФ называются такие формулы, в типовых условиях которых все переменные, управляемые квантором, встречаются в конъюнкте. Новой возможностью в синтаксисе описания задач для прувера



Bootfrost является возможность использования списков в качестве аргументов термов. Реализованы следующие вычислимые операции:

- вычисляемая функция $a ++ b$ - конкатенация списков a и b ;
 - вычисляемый предикат $a \in b$ - принадлежность элемента a к списку b ;
 - вычисляемый предикат $a \subseteq b$ - является ли a подсписком списка b ;
 - вычисляемая функция $\text{sort}(a)$ - сортировка элементов списка в порядке возрастания;
 - вычисляемая функция $\text{dedup}(a)$ - удаление повторяющихся элементов списка;
- Элементами списка могут быть другие термы и списки, и приведенные выше операции обрабатывают их только синтаксически, не учитывая возможность унификации термов (Давыдов А.В., Ларионов А.А.).

6. Разработан децентрализованный алгоритм планирования пути группы автономных роботов при обследовании нестационарного поля концентрации с целью локализации его источников и восстановления линии уровня с целевым значением. Стратегия управления основывается на методе поведенческой структуры и реализует механизмы как био-инспирированных, так и градиентных подходов. Управление каждым агентом строится как взвешенная сумма шести сил: кооперирующая, градиентная, сегрегирующая, фронтальная, релаксирующая и граничная, рассчитывающихся на основе собственных координат и произведенного измерения функции поля, так и аналогичных данных, полученных от соседних роботов. Для параллельного решения обеих подзадач множество агентов разделяется на две группы. При этом, подгруппа, обеспечивающая локализацию источников, дополнительно разделяется на несколько поисковых кластеров, состоящих из 3-4 роботов. К ним прикладываются первые три силы, отвечающие за стайное поведение внутри группы, движение по приближительной оценке градиента в сторону какого-либо из источников (эксплорация) и стайное взаимодействие между кластерами (эксплуатация), соответственно. Агенты второй подгруппы ориентируются при планировании пути на один из поисковых кластеров, но не состоят в них. На каждого такого робота действует фронтальная сила, которая отталкивает его от связанного кластера или притягивает к нему в зависимости от того, опережает он целевую линию уровня или отстает от нее. Помимо этого, прикладывается релаксирующая сила, которая равномерно распределяет агентов по периметру целевой линии уровня. Наконец, граничная сила воздействует на всех роботов, обеспечивая их удержание внутри обследуемой области.

Предложенная стратегия была реализована в рамках компьютерных симуляций и в комплексе TEMAR на негеномных колесных роботах. Для последнего было разработано преобразование результирующего вектора приложения сил в линейную и угловую скорости, необходимые для управления роботом как машиной Дубинса. Результаты компьютерных симуляций и полунатурных испытаний согласуются между собой и демонстрируют высокую точность и скорость как локализации источников поля концентрации, так и восстановления целевой линии уровня (Толстихин А.А., к.т.н. Ульянов С.А.).

7. Разработана система мониторинга функционирования информационно-вычислительных ресурсов и процессов недетерминированной распределенной среды. В частности, предложена архитектура и особенности реализации модульной системы мониторинга, предназначенной для сбора, обработки, визуализации метрик и



автоматизированного мониторинга состояния гетерогенной распределенной вычислительной среды. Практические эксперименты подтвердили работоспособность системы и определили дальнейшие направления ее развития, предполагающие использование методов искусственного интеллекта для обнаружения и прогнозирования сбоев в компонентах вычислительной среды (ак. Бычков И.В., д.т.н. Феоктистов А.Г., к.т.н. Костромин Р.О., Воскобойников М.Л., к.т.н. Башарина О.Ю.).

8. Разработаны инструментальные средства автоматизации создания гибридной облачной инфраструктуры для проведения качественного исследования нелинейных двоичных динамических систем, обеспечивающие формирование базы знаний пакета прикладных микросервисов, его создание, подготовку узлов инфраструктуры для его развертывания и мультиагентное управление вычислениями с использованием новой логической модели построения планов вычислительных действий при решении непроцедурных постановок задач на вычислительной модели предметной области, допускающей эффективную программную реализацию. Практическая значимость разработанного инструментария обусловлена широким применением двоичных моделей объектов в разнообразных предметных областях и состоит в повышении эффективности качественного исследования этих моделей путем автоматизации всех этапов его проведения (д.т.н. Опарин Г.А., к.т.н. Богданова В.Г., Пашинин А.А.).

Проект «Методы и технологии облачной сервис-ориентированной цифровой платформы сбора, хранения и обработки больших объёмов разноформатных междисциплинарных данных и знаний, основанные на применении искусственного интеллекта, модельно-управляемого подхода и машинного обучения»

№ гос. регистрации: 121030500071-2

Научный руководитель – к.т.н. А.Е. Хмельнов

Реализация новых методов полуавтоматического и автоматического построения композиций сервисов на основе онтологических моделей, статистических данных, методологических и предметных баз знаний.

Приведем формальное описание метода создания композиций сервисов. Работа метода основывается на новой вычислительной модели композиции сервисов, определяемая структурой

$CM = \langle Z, S, A, T, CR, F \rangle$ со следующими обозначениями.

Z – множество параметров. В стандарте WPS OGC обработки пространственных данных параметры связаны с определенными типами данных.

S – множество сервисов. В работе рассматриваются только сервисы без хранения состояния (stateless), т.е. результат выполнения сервисов не должен зависеть от предыдущих вызовов. Сервис $s \in S$ – это упорядоченная тройка $s = \langle name, Z^{Inp}, Z^{Out} \rangle$, где $name$ – это имя сервиса, $Z^{Inp} \in Z$ – множество входных параметров, $Z^{Out} \in Z$ – множество выходных параметров сервиса. Среди выходных параметров сервиса имеется параметр успешности выполнения сервиса. Далее будем обозначать $s.Z^{Inp}$ и $s.Z^{Out}$ параметры, принадлежащие



определенному сервису. Сервисы разделяются на сервисы получения данных $S^d \subset S$, вычислительные сервисы $S^c \subset S$ и сервисы публикации данных $S^p \subset S$.

A – множество пользователей, которые взаимодействуют с СОИАС через применение сервисов S . Набор применяемых ими сервисов может варьироваться.

T – множество заданий выполнения сервисов из S . Каждое задание $t \in T$ определяется упорядоченной четверкой $t = \langle a, s, V_I, V_O \rangle$, т.е. вызов сервиса $s \in S$ пользователем $a \in A$ с множеством значений V_I входных параметров $s.I$ и результаты V_O выходных параметров $s.O$.

CR – множество вычислительных узлов, на которых выполняются сервисы. Каждый сервис может быть активирован на заранее определенных узлах. Автоматическое выделение новых узлов для сервисов в работе не рассматривается.

F – множество функций ранжирования сервисов.

Отметим, что композиция сервисов является также сервисом с заданным именем, входными и выходными параметрами. Общеизвестным стандартом определения композиций является использование направленного ациклического графа (Directed Acyclic Graph) $s_i = DAG_i = \langle T_i, E_i \rangle$, $s_i \in S$, в котором вершинами являются задания $t \in T_i$, а ребра $e = \langle v_k, v_l \rangle$, $e \in E_i$, показывают передачу данных от одного выходного параметра задания к входному параметру другого задания, где $v_k \in V_I^i$, $v_l \in V_O^j$, $t_i = \langle a_i, s_i, V_I^i, V_O^i \rangle$, $t_j = \langle a_j, s_j, V_I^j, V_O^j \rangle$. Поскольку возможна передача данных одновременно по нескольким параметрам, то ребер между двумя вершинами (заданиями) также может быть несколько. В литературе чаще всего передача данных между заданиями обычно обозначается одним ребром. Для создания готовой к выполнению композиции необходимо определить все передаваемые данные между параметрами.

Определим типы данных, используемые для обработки пространственных данных. Частично примем обозначения, принятые в реляционной алгебре.

$D = \{D_1, \dots, D_l\}$ – множество скалярных типов, определенных в стандарте WPS.

$R = \{R_1, \dots, R_m\}$ – множество схем отношений.

$d = \{d_1, \dots, d_k\}$ – множество таблиц (отношений). В качестве параметров могут использоваться реляционные таблицы $d_i \in Z$.

Введем множество типов параметров $TZ = D \cup R$. Для каждого параметра определен тип $tz_j = type(z_i)$, $tz_j \in TZ$.

Для формирования композиций сервисов требуется информация о возможности передачи данных выходного параметра сервиса для использования в входном параметре другого сервиса, однако соответствие типов параметров не является достаточным, например, тип «число» может иметь смысл – высота над уровнем моря, а в другом случае – температура. Поэтому соответствие типов является необходимым условием, но не достаточным. Получение информации о возможности передачи данных между параметрами может производиться на основе анализа метаданных, онтологий, экспертных знаний и статистики применения сервисов и т. д. Поэтому вводим понятие метки, которое позволяет абстрагироваться от способа получения информации о возможной передаче данных между параметрами. Метка используется для идентификации возможности передачи данных, т. е. если выходной параметр и входной параметр имеют одну и ту же метку, то между ними



возможна передача данных. Каждому параметру может соответствовать ноль и более меток. Метками могут являться онтологические концепты, заданные с помощью URI, или некоторые сгенерированные уникальные значения.

$m \in M$ – множество меток. Для каждого параметра z_j определено подмножество меток M_j . Проверка возможности передачи данных между сервисами в рамках модели выполняется на основе соответствия типов параметров и меток. Для двух сервисов s^i и s^j возможна передача данных от параметра $z^i \in s^i.Z^{out}$ к параметру $z^j \in s^j.Z^{inp}$, если типы параметров совпадают $type(z_i) = type(z_j)$ и существует метка $m \in M$, которая имеется у обоих параметров $m \in M_i$ и $m \in M_j$.

Выполнение этого условия не гарантирует корректное выполнение сервиса s^j . Оно позволяет значительно сузить количество возможных композиций сервисов.

Основные этапы метода

Процесс создания композиции сервисов представлен последовательностью 4 этапов (рис. 14)



Рис. 14. Схема метода формирования композиций сервисов

Построение модели предметной области состоит из 5 шагов, выполняемых независимо друг от друга.

1. Создание и регистрация сервисов – предполагается разработка вычислительных сервисов, сервисов данных и сервисов публикации данных. Вычислительные сервисы разрабатываются в соответствии со стандартом WPS на вычислительных ресурсах среды или на любых других серверах, до которых имеется сетевой доступ. Для создания сервисов



данных используется компонент «Фабрика сервисов ввода и редактирования реляционных данных», который поддерживает все основные этапы работы с табличными данными. «Фабрика сервисов отображения графиков» и «Фабрика сервисов отображения пространственных данных» предназначены для создания сервисов публикации данных. Все создаваемые сервисы регистрируются в каталоге, обладают программным интерфейсом и готовы стать частью композиции сервисов.

2. Регистрация сторонних сервисов – осуществляется подключение WPS сервисов, созданных на сторонних вычислительных ресурсах. В каталоге сервисов указывается необходимая для запуска сервиса информация и метаданные.

3. Описание онтологической модели сервисов – предназначено для определения возможности передачи данных между параметрами сервисов на основе онтологий. Рамках описания онтологической модели сервисов предполагается определение концептов для параметров сервисов. Каждому параметру может соответствовать ноль и более меток. Метками могут являться онтологические концепты, заданные с помощью URI. Использование одного и того же концепта для выходного параметра сервиса и для входного параметра другого сервиса предполагает возможность передачи данных между ними и присвоение одной метки для них. Одним из основных отношений, который применяется для формирования меток является отношение частное – общее. В онтологии для задания этого отношения между концептами используется элемент `subClassOf`. Например, сервис имеет параметр входной параметр z_j с заданным некоторым концептом k , то в качестве входных данных могут использоваться данные сервисов, которые имеют концепты, являющиеся частными по отношению к k .

4. Формирование экспертных знаний – используется для определения возможности передачи данных пользователем. Разработка онтологий достаточно сложный процесс. Часто с помощью онтологий не все сущности и отношения предметной области формализованы. Поэтому в качестве меток параметров сервисов могут использоваться некоторые сгенерированные уникальные значения, назначаемые пользователем для конкретных сервисов. Например, сервис построения карты плотности может применяться для всех точечных данных. Соответственно выходным параметрам, которые предоставляют векторный точечный слой, можно назначить ту же самую метку, что и у входного параметра сервиса построения карты плотности.

5. Сбор статистики выполнения сервисов – производится сбор информации о произведенных вызовах сервисов, которые включают название сервиса и его адрес, значения входных и выходных параметров, время выполнения сервисов, успешность выполнения, ошибки выполнения и т.д. Производится анализ статистических данных, определение передачи данных между параметрами сервисов и присвоение меток.

После построения модели предметной области применяются два альтернативных способа создания композиций:

1. Автоматическое формирование композиций сервисов – данный способ позволяет создать композицию сервисов на основе анализа графа связности заданий. Результаты анализа сохраняются в виде $s_i = DAG_i$.

2. Разработка композиций сервисов – пользователь разрабатывает композиции сервисов с помощью языка JavaScript. Этот способ требуется при необходимости обработки



промежуточных данных с помощью средств языка, или при заранее неизвестной структуре композиции DAG_i , которая формируется в зависимости от данных.

Последним этапом является сохранение полученных композиций сервисов в каталоге для последующего применения пользователями (к.т.н. Федоров Р.К., к.т.н. Попова А.К., к.т.н. Авраменко Ю.В., д.т.н. Ружников Г.М., к.т.н. Маджара Т.И.).

Разработка интерактивного редактора спецификаций приложений БД. Реализация механизмов информационного обмена с другими приложениями с использованием форматов JSON и XML, формируемых в соответствии с этими спецификациями. Разработка алгоритмов генерации кода записи бинарных данных по спецификациям форматов бинарных данных на языке FlexT для ограниченного подмножества поддерживаемых форматов данных. Разработка работоспособного образца представления результатов обработки Больших Данных в виде семантически размеченных документов, допускающих их интеграцию друг с другом и другими видами электронных документов (к.т.н. Хмельнов А.Е., к.т.н. Гаченко А.С., к.т.н. Фереферов Е.С., к.т.н. Черкашин Е.А., Хмельнова Т.Ф.).

Разработана новая версия библиотеки трансформации диаграмм классов Modelio-5.3.1, представленных в формате XMI-2.1, в RDF-представление с использованием стандартизованных нотаций (UML, Open Annotation, Provenance, XML XSD) в граф знаний (ГЗ). Развита система трансформационных объектов библиотеки для реализации семантических связей объектов диаграммы классов с объектами DBpedia.org. Библиотека апробирована на порождении ORM-моделей для библиотеки SQLAlchemy-2.0.

Библиотека представляет набор компонент объектно-ориентированного языка логического программирования Logtalk. В новой версии платформонезависимая модель анализируется и напрямую, без преобразования в ГЗ-представление, так получая доступ к ГЗ-представлению диаграммы классов. Для обеспечения такой унификации произведен рефакторинг интерфейсов и параметризованных объектов анализа и трансформации, создание новых категорий. Такой вариант представления позволяет разрабатывать модели платформы как системы распознавания образов (pattern recognition) синтаксического типа при помощи не только наследования, но и композиционного проектирования.

Развитие инструментальных средств представления и хранения семантической информации велось в направлении поддержки представления информации RDF в исходных текстах LuaLaTeX. Разработаны команды и среды (environments) LaTeX для представления разделов учебных программ. В команды встроены процедуры обработки данных на языке Lua, позволяющие изымать аргументы команд и записывать их в виде разделов графа знаний. Вложенность команд и сред позволяет моделировать структуру рабочей программы (в т. ч. количественные характеристики), организовывать как качественное формирование выходного PDF-документа, так и получать его семантическую разметку.

Разработка и исследование теоретических основ интерпретации структуры электронных документов на основе семантического анализа, включая обзор современного состояния исследований, проработка возможных вопросов и способов решения проблемы. Прототипирование и оценка производительности экспериментального программного обеспечения.



Выделение логической структуры документов основывается на использовании различных свойств текста, включая полужирное начертание. Полужирным начертанием обычно выделяются заголовки, определяемые слова и названия колонок в таблицах. В рамках данного этапа разработан метод классификации текста по жирности начертания, который состоит из трех шагов. На первом шаге проводится бинаризация всего изображения с целью разделения пикселей изображения на пиксели текста и фона. Второй шаг включает оценку каждого слова, где в результате возвращается величина, характеризующая толщину основного штриха символа в данном слове. На последнем шаге проводится кластеризация оценок на два кластера: жирный текст и обычный. Блок-схема разработанного метода представлена на Рис. 15.

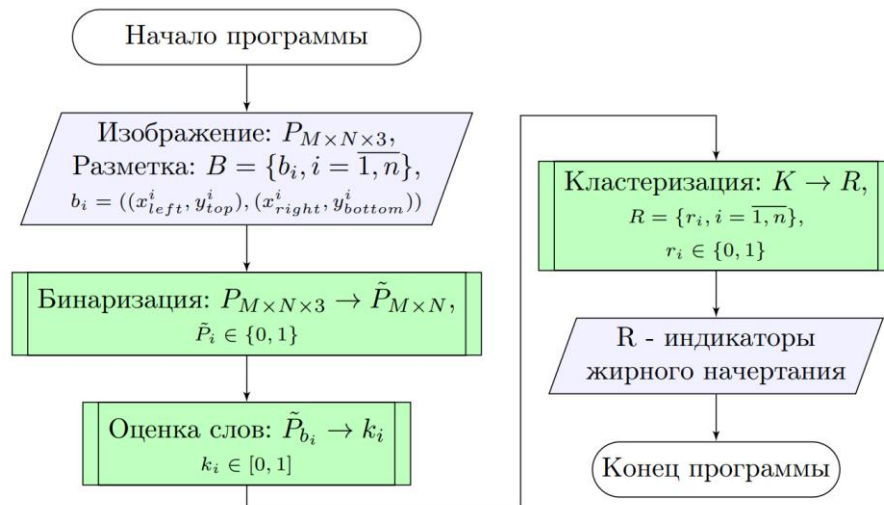


Рис. 15. Схема работы метода

Для тестирования предложенного метода классификации текста по жирности начертания использовались три набора данных, которые были размечены вручную. Первый набор данных, названный "ВКР", состоял из 30 изображений, включая 5 изображений со сложным текстом, 20 изображений с обычным текстом, где присутствовал текст с жирным начертанием, и 5 изображений без жирного шрифта. Всего в этом наборе данных было 5420 слов, из которых 410 (7,6%) были выделены жирным начертанием. Второй набор данных, названный "ГОСТ", был получен путем конвертирования PDF ГОСТа в изображение. Этот набор данных отличался более низким разрешением изображений и меньшим размером шрифта по сравнению с "ВКР". Всего в этом наборе данных было 10769 слов, из которых 685 (6,3%) были выделены жирным начертанием. Третий набор данных, названный "СКАН", был получен путем сканирования одного из учебников. Особенностью этого набора данных было то, что фон не был абсолютно белым, а текст не был абсолютно черным, а также присутствовали некоторые искажения слов. Всего в этом наборе данных было 5055 слов, из которых 407 (7,8%) были выделены жирным начертанием.

Для оценки производительности метода была использована F1-мера, которая является классической оценкой в анализе данных. Дополнительно был рассчитан Ассигасу для того, чтобы показать правильность определения значений в целом. По результатам тестирования



получены следующие результаты Accuracy: ВКР - 0.93, СКАН - 0.91, ГОСТ - 0.84. Результаты оценки F1-меры составили 0.72 для всех наборов данных.

Предложен подход к реализации [потенциально] однопроходного алгоритма морфологического анализа предложений русского языка. Подход основывается на развитии идей подходов link-grammar, наиболее активно используемого в настоящее время в практических приложениях метода восходящего синтаксического анализа естественного языка. Предлагаемый подход предполагает представление морфологического разбора в виде планарного древовидного графа, где дуги выражают морфологические связи между словами, соответствующие правилам построения русского языка. Планарное представление морфологических связей - основное свойство представления предложений естественного языка, воспринимаемых человеком. Правила языка формализуются в виде функций-предикатов языка Haskell, проверяющие грамматические соответствия слов. Для каждой связи и разбора вычисляется вероятностная оценка, основанная на применении DAWG-представления корпуса русского языка (реализованного в библиотеке Rymorphy3). При выполнении анализа предложений варианты разбора упорядочиваются по уменьшению кумулятивной оценки (в стиле A* и GPS). В отличие от link-grammar-подхода данный подход не требует использования SAT-решателей для реализации разбора, используется кумулятивная оценка перспективности варианта разбора, которую, потенциально, можно привязывать к контексту. Предложенный подход протестирован на простых предложениях анализатором, в котором реализовано девять основных правил. Исходный код представлен в виде библиотеки языка программирования Haskell опубликован <https://github.com/eugeneai/msg-tax>.

Результаты исследований предполагается развивать в разработке систем понимания естественного языка на основе трансформации моделей, где “понимание” реализуется как трансформация модели воспринятой сущности или набор действий. Один из вариантов указанной трансформации - порождение семантически-размеченных документов на основе хранимых в графе данных и знаний, полученных в результате анализа текстов естественного языка (частей входных слабоструктурированных текстовых документов).

В рамках поставленной задачи были исследованы и апробированы методы установления иерархической зависимости в заголовках электронных таблиц, являющихся одной из составляющих электронных документов. Научная проблема установления иерархий в заголовках таблиц является актуальной. Существует множество исследовательских работ, посвященных анализу функций как ячеек таблиц, так и анализу их структуры.

В данном исследовании оценка структуры заголовка и ее интерпретация велись, используя эвристические методы. Для поиска и обнаружения таблиц, а также их основных элементов (название, заголовки, данные, метаданные, сноски) использована методология и проведена адаптация программного средства FrameFinder, использующая для обнаружения таблиц алгоритмы условных случайных полей (Conditional Random Fields). Адаптированная версия дала возможность более корректного обнаружения таблиц. Так, FrameFinder обнаруживает элементы таблицы в вертикальной плоскости. Для идентификации границ таблицы по горизонтали разработаны методы, использующие объектную модель Microsoft Office Excel.

В Excel таблицах реализованы поиск иерархий в боковике и заголовке.



Для определения иерархических пар в боковике была проведена адаптация метода HierarchicalExtraction, для реализации Senbazuru. В данной реализации для каждой из ячеек боковика формируется вектор свойств, в зависимости от оценок взаимного расположения (соседства) ячеек, графического форматирования — отступы, табуляции, шрифты, наличие заливки, а также текстовом содержании — заполнители, ключевые слова, типы данных. Эвристики основываются сопоставлении векторов свойств для каждой пары.

По результатам анализа таблиц в наборе данных SAUS было отмечен ряд свойств ячеек заголовка. Ячейки потомки (нижнего) уровня не выходят за горизонтальные границы ячеек родителей (верхнего) уровня. В заголовке отсутствуют ячейки, не содержащие данных на визуальном уровне.

Идентифицированные иерархические пары сохраняются в виде целочисленных значений, содержащих информация о положении левой, верхней, правой и нижней границ ячеек (к.т.н. Шигаров А.О., к.т.н. Парамонов В.В., к.т.н. Михайлов А.А., к.т.н. Черкашин Е.А.).

Произведено проектирование сервиса автоматизации поддержки принятия решений, реализующего принципы модельно-управляемого подхода при решении задач диагностирования и прогнозирования на основе продукций и прецедентов, реализация отдельных его модулей

В рамках текущего этапа проекта были:

- сформулированы принципиальные требования к сервису, включая: круг решаемых предметных задач, поддерживаемые типы исходных концептуальных моделей и формализмов, возможные их трансформации, целевые платформы для кодогенерации;
- разработана архитектура сервиса;
- создана схема (модель) для представления и хранения данных сервиса.

В качестве исходных концептуальных моделей и формализмов определены: диаграммы деревьев событий (ДС) и их расширенный авторский вариант, которые описывают в виде иерархического дерева процесс развития некоторого начального события (явления – корня) приводящего к множеству различных вариантов других конечных событий (листьев); диаграммы переходов состояний (ДПС), которые описывают в виде графа изменение состояний для некоторого процесса, объекта или явления; электронные таблицы, представляющие как таблицы решений специализированной формы, так и вертикальные (реляционные) таблицы.

Основные компоненты (модули) системы: визуальный редактор ДС (классические и расширенные), визуальный редактор ДПС, подсистема импорта и экспорта диаграмм в их собственных форматах и OWL, подсистема генерации кодов, подсистема интерпретации, подсистема импорта и аннотирования табличных данных (д.т.н. Берман А.Ф., к.т.н. Дородных Н.О., д.т.н. Николайчук О.А., д.т.н. Юрин А.Ю., Малтугуева Г.С.).

Разработаны онтологические модели понятий, задач, методов и алгоритмов, методологических баз знаний формирования моделей и принципов самоорганизации для реализации модельно-управляемого подхода при решении задач управления риском техногенных катастроф.

Предложена онтологическая модель технического объекта, проблемной задачи, метода и операции его реализующей, как основы самоорганизации. Под самоорганизацией



понимается процесс упорядочения элементов (компонентов) в информационной системе за счёт внутренних факторов, без специфического внешнего воздействия. Самоорганизация имеет параметрический и структурный характер. Описаны архитектура системы в целом и основные аспекты основного модуля - планировщика, обеспечивающего самоорганизацию открытой многокомпонентной информационной системы. Детально изложены модель и алгоритмы реализации планировщика. В частности, описаны алгоритмы основных операций: формирования описания задачи, методологии решения задачи, «интеллектуального» выполнения задачи. Также перечислены принципы формирования и дано описание основных локальных правил базы знаний планировщика, отвечающих за описание методологии, процесса решения, согласование мнений экспертов и самообучение. Дано концептуальное описание реализации планировщика на основе компонентов программной платформы. Описаны архитектурные особенности, которые позволяют обеспечить свойства самоорганизации процессу выполнения проблемно-ориентированных функций планировщика. При этом степень интеллектуализации можно при этом динамически изменять, создавая сначала более простой императивный каркас алгоритма, а затем, расширяя и дополняя его предметными базами знаний на основе опыта применения проблемно-ориентированных функций. Приведены некоторые результаты применения рассмотренного подхода для задачи технического диагностирования экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ): фрагменты генерируемого программного, формы пользовательского интерфейса, демонстрирующие описание объекта экспертизы, локальных правил, методов и результатов самоорганизации.

В рамках онтологии предложена уточненная интерпретация, идентификация и связь некоторых понятий надежности технических объектов, обеспечивающая снижение уровня противоречий, единообразное и взаимоувязанное представление знаний значительного числа научных и технических дисциплин. Определены причины (механизмы и процессы), обуславливающие те или иные признаки повреждений, неисправностей, отказов и соответствующие им состояния объектов. Разработаны информационные модели, отражающие взаимосвязь признаков с причинами их возникновения. Полученные результаты отражают основу для развития онтологии рассматриваемой предметной области как систематизированного описания некоторых понятий, их свойств и отношений. Выявлены принципиальные противоречия в некоторых определениях, которые затрудняют решение междисциплинарной проблемы снижения риска техногенных катастроф.

Применение принципов самоорганизации при решении задач управления риском техногенных катастроф позволит повысить качество результатов данного процесса за счет автоматизации процессов решения задач и согласования знаний экспертов из различных предметных областей (д.т.н. Берман А.Ф., д.т.н. Николайчук О.А., к.т.н. Павлов А.И.).

Осуществлено проектирование и разработка отдельных компонентов платформы автоматизации создания интеллектуальных систем, включая компоненты, обеспечения автоматизированного получения новых знаний во время эксплуатации на основе методов машинного обучения.

Осуществлена реализация сформулированного на предыдущем этапе набора компонентов на основе средств облачной инфраструктуры «Яндекс.Облако» при этом в каждый из компонентов добавлена возможность обработки большого количества



пользовательских запросов с помощью использования очереди сообщений («Message Queue»). На рисунке 2 представлены изменения в предлагаемой архитектуре платформы автоматизации создания интеллектуальных систем.

Таким образом, типовой компонент платформы помимо основной функциональности включает в себя служебный блок, который обеспечивает получение входных данных от HTTPS запроса либо триггера очереди сообщений. В случае, когда компонент оформляется в виде облачной функции («Cloud Function») [https://cloud.yandex.ru/docs/functions], служебный блока реализуется непосредственно в функции. Если же компонент имеет более сложную реализацию, например, в виде бессерверного контейнера (Serverless container) или на базе виртуальной машины (группы виртуальных машин), то служебный блок реализуется в виде отдельной облачной функции (часть функциональности компонента маршрутизации сообщений). Использование очереди сообщений в качестве средства для аккумуляции пользовательских запросов при реализации компонентов платформы автоматизации создания интеллектуальных систем обеспечивает разрабатываемым компонентам дополнительные свойства надежности и отказоустойчивости за счет того, что при возникновении проблем во время обработки запроса, он не теряется и может быть обработан повторно (к.т.н. Павлов А.И.).

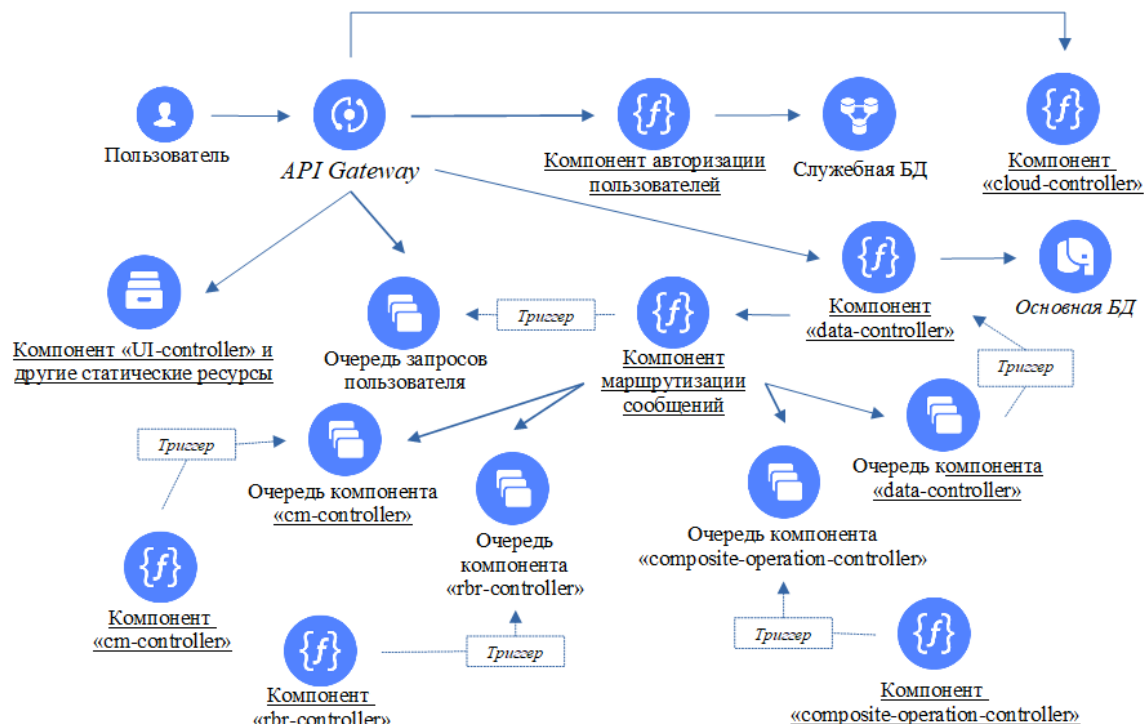


Рис. 16. Архитектура платформы автоматизации создания интеллектуальных систем

Обоснована возможность использования синергетического принципа Чувствительности Начальных Условий, отражающего катастрофические события, как техническую аналогию причин природных катастроф.

Чувствительность начальных условий отражает такое значение и соотношение параметров конструктивно-прочностных и конструктивно-структурных свойств объектов, которое может приводить к качественному и количественному изменению свойств и



состояний объектов даже при их незначительном отличии от начальных значений. Анализ процессов изменения свойств и состояний природных объектов, рассматриваемых в синергетике, и свойств и состояний технических объектов позволил выявить их техническую аналогию. Сформулированы условия и задачи, решение которых может послужить основой для разработки метода и моделей обеспечения свойств техногенной безопасности.

Причиной катастрофических разрушений (отказов) технических объектов являются некоторые свойства и воздействующие факторы, влияние которых на свойства безопасности элементов, характеризуемого риском катастрофического отказа, либо не выявлены, либо не рассмотрены с достаточной степенью точности. Причиной этого являются как несовершенства методов, моделей и средств создания и применения технических объектов, так и их нарушения. Поэтому не обеспечивается в полной мере требуемый состав и уровень свойств для нейтрализации отрицательного воздействия как известных, так и неизвестных воздействующих факторов.

К неизвестным факторам можно отнести и Чувствительные Начальные Условия (далее, ЧНУ), характеризующие не учитываемые или не выявленные колебания и сочетания свойств и воздействующих факторов. ЧНУ могут привести к неконтролируемым деградиационным процессам, характеризуемым флуктуациями параметров и состоянием бифуркации, обуславливающих внезапные события (разрушения). То есть, ЧНУ может быть причиной неопределенности свойств, характеризующих конструктивную прочность и ресурс, что приводит к нарушению техногенной безопасности.

Новая структура всегда является результатом раскрытия неустойчивости из-за флуктуаций (изменения параметра около среднего значения). Флуктуации, реализуемые в системе, могут привести к различным вариантам дальнейшего существования системы. Полагаем, что самоорганизация обуславливает формирование и реализацию вариантов в точке бифуркации. Выбор вариантов происходит в точке бифуркации. Точка бифуркации представляет собой переломный, критический момент в изменении состояния системы, в котором она осуществляет выбор пути. Иначе говоря, это точка ветвления вариантов изменения состояния, точка, в которой может возникнуть катастрофическое событие, например разрушение опасного объекта (рис. 17) (д.т.н. Берман А.Ф.).

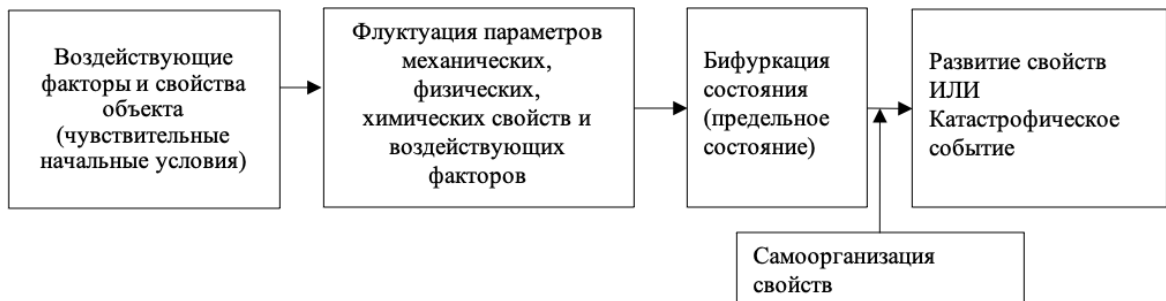


Рис. 17. Процесс формирования свойств и событий в объекте



Проект «Теоретические основы, методы и высокопроизводительные алгоритмы непрерывной и дискретной оптимизации для поддержки междисциплинарных научных исследований»

№ гос. регистрации: 121041300065-9

Научный руководитель – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский

Минимизирующие последовательности и сходимость схемы глобального поиска для общей задачи ДС оптимизации с невыпуклыми ограничениями Рассматривается общая задача невыпуклой оптимизации с гладкими ДС ограничениями типа равенства и неравенства и ДС целевой функцией, которая сведена к задаче без ограничений и ДС целевой функцией с помощью Теории точного штрафа (ТТШ). Для минимизирующих последовательностей оштрафованной задачи доказаны необходимые и достаточные условия, связанные с известными Условиями глобальной оптимальности (УГО), а также разработан «теоретический метод» построения минимизирующих последовательностей и доказана его сходимость. Далее, используя специальный метод локального поиска (СМЛП) предложена новая схема (стратегия) глобального поиска (СГП) с варьированием штрафного параметра, основанная на УГО и понятии разрешающей аппроксимации, обеспечивающей сходимость СГП. Последнее означает, что последовательность, генерируемая СГП, оказывается минимизирующей в предельной (по штрафному параметру) оштрафованной задаче. При условии «приближенной допустимости» каждого элемента сгенерированной СГП последовательности, она оказывается минимизирующей в исходной задаче ДС минимизации с ДС ограничениями (д.ф.-м.н. Стрекаловский А.С.).

Методы локального и глобального поисков для задач машинного обучения с частичным привлечением учителя. Исследовано обобщение базовой модели кластеризации, задачи о k -средних, в котором введены дополнительные ограничения, позволяющие учитывать определенные экспертные знания о метках данных или заранее известных свойствах кластеров. Предложенная модель сформулирована в виде задачи минимизации невыпуклой функции над невыпуклым допустимым множеством, для решения которой разработан подход, основанный на специальном методе локального поиска и условиях глобальной оптимальности. Проведен вычислительный эксперимент, показавший конкурентоспособность предложенного метода (с традиционной эвристикой k -средних) и улучшение разделения элементов данных на кластеры, при добавлении ограничений, учитывающих экспертную информацию о задаче (к.ф.-м.н. Груздева Т.В., к.ф.-м.н. Ушаков А.В.).

Модифицированный штрафной метод локального поиска в задаче двухуровневой оптимизации с биматричной игрой на нижнем уровне. Для одного класса двухуровневых задач с равновесием на нижнем уровне, где сформулирована параметрическая биматричная игра, разработана модифицированная схема штрафного локального поиска с решением гладких вспомогательных линеаризованных задач на шагах метода (к.ф.-м.н. Орлов А.В.).

Численное исследование гибридного подхода к поиску ситуаций равновесия по Нэшу в полиматричных играх трех лиц. Организован, проведен и проанализирован сравнительный вычислительный эксперимент по решению полиматричных игр трех лиц



(гексаматричных игр), как с помощью «базового» алгоритма глобального поиска, разработанного ранее, так и с помощью нового гибридного подхода, сочетающего теорию глобального поиска А.С. Стрекаловского и операторы генетических алгоритмов. Полученные результаты эксперимента на сериях случайно сгенерированных задач, свидетельствуют об эффективности гибридного подхода к поиску ситуаций равновесия по Нэшу в гексаматричных играх по скорости и размерности решаемых задач (к.ф.-м.н. Орлов А.В.).

Алгоритм решения задачи увеличения излучения фазированных антенных решёток. Для задачи увеличения излучения фазированных антенных решёток, сформулированной в виде невыпуклой задачи максимизации с ограничениями-неравенствами представлен и протестирован подход, в основе которого лежит сведение исходной задачи к оштрафованной задаче без ограничений посредством теории точного штрафа. Разработаны алгоритмы, локального и глобального поисков, базирующиеся на условиях глобальной оптимальности для решения оштрафованной задачи. Проведен вычислительный эксперимент, подтвердивший эффективность разработанного алгоритма по сравнению с современными решателями BARON и Gurobi, а также с подходом, использующим идеи дифференциальной эволюции (д.ф.-м.н. Стрекаловский А.С., Баркова М.В.).

Новые постановки практических задач составления расписаний: модели, приложения и алгоритмы поиска решений. Предложены и исследованы несколько обобщений задач составления расписаний, возникающих в реальных практических приложениях. Обобщенный вариант задачи упаковки прямоугольников в несколько полос рассмотрен в виде гибридной задачи назначения мест швартовки (причалов) грузовых кораблей различной грузоподъемности в портах с несколькими причальными стенками (hybrid berth assignment problem with multiple quays). Задача сформулирована в виде задачи смешанного целочисленного линейного программирования, для которой разработаны два эвристических алгоритма поиска решений. Первый представляет собой так называемую skyline best-fit эвристику, основная идея которой состоит в специальном представлении текущей упаковки с помощью так называемого «контура» (skyline). Второй алгоритм основан на идеях, используемых в практических приложениях составления расписаний выполнения параллельных заданий в распределенных вычислительных средах. Разработанные алгоритмы реализованы и успешно протестированы на большом числе тестовых задач, как полученных из известных тестовых библиотек задач упаковки, так и случайно сгенерированных.

Кроме этого, предложен и исследован новый обобщенный вариант задачи составления расписания выполнения проекта с ограничением на ресурсы (Resource-Constrained Project Scheduling Problem), естественным приложением которой является так называемая задача развертывания мобильных сетей связи. Для исследуемой задачи разработаны МПР-эвристики, основанные на целочисленной постановке задачи. В частности, разработана двухэтапная эвристика, включающая фазу построения начального допустимого решения и этап его улучшения за счет локального поиска. Предложенная постановка и разработанные алгоритмы решения реализованы и протестированы на ряде тестовых задач большой размерности, соответствующих реальным приложениям.



Третий объект, для которого предложена и исследована новая постановка, – это задача составления расписания работы персонала (personnel task scheduling problem). Для нее разработан алгоритм на основе рандомизированной жадной процедуры поиска начального решения, а также алгоритма локально поиска с запретами для нахождения лучших решений. Разработанный алгоритм протестирован на широком спектре тестовых задач, в том числе и возникающих в реальных практических приложениях. Полученные результаты продемонстрировали высокую эффективность разработанных подходов, которые позволили найти близкие к оптимальным решения, существенно превзойдя другие методы (к.ф.-м.н. Васильев И.Л., к.ф.-м.н. Ушаков А.В.).

Новая модель задачи о покрытии множеств и алгоритмы поиска ее решений. Предложен и исследован новый вариант задачи о покрытии множеств, возникающий в реальных практических приложениях, в частности при размещении вышек сотовой связи. Разработано несколько эффективных процедур предобработки данных, позволяющие существенно уменьшить размерность задачи. Также разработаны эффективные алгоритмы поиска решений, включающие в себя несколько вариантов жадного алгоритма для поиска начального допустимого решения, а также процедуру локального поиска (жадной перестановки), основанную на исследовании окрестности заданного начального решения, полученной за счет исключения одного из открытых предприятий. На основе этих алгоритмов разработан локальный метод с чередующимися окрестностями, позволяющий избежать «застревания» в локальных решениях (к.ф.-м.н. Васильев И.Л., к.ф.-м.н. Груздева Т.В., к.ф.-м.н. Ушаков А.В.).

Параллельный алгоритм кластеризации, основанный на задаче о k-медиоидах, реализованный с использованием GPU. Разработан эффективный параллельный алгоритм кластеризации в реализации для графических процессоров, представляющий собой прямо-двойственную эвристику для известной задачи о k-медиоидах, представленной в виде задачи целочисленного линейного программирования. Разработана GPU-реализация прямо-двойственной эвристики, основанной на релаксации Лагранжа исходной задачи. Алгоритм протестирован с использованием различных метрик, задающих расстояния, на ряде тестовых данных (к.ф.-м.н. Ушаков А.В.).

Параллельный алгоритм Cube-and-Conquer, предназначенный для решения трудных экземпляров проблемы булевой выполнимости, был применен для анализа стойкости криптографических примитивов. Конкретнее, впервые был найден прообраз для единичного хеша, сгенерированного 29-шаговой функцией сжатия MD5. Ранее подобный результат был получен максимум для 28-шаговой функции сжатия MD5. Также с помощью Cube-and-Conquer была впервые решена задача криптоанализа 9-раундовой версии блочного Simon32/64 в следующей постановке: даны открытый текст, шифртекст, а также первые 16 из 64 битов секретного ключа; требуется найти значения оставшихся 48 неизвестных битов секретного ключа (к.т.н. Заикин О.С.).

С помощью параллельного алгоритма Cube-and-Conquer, предназначенного для решения трудных экземпляров проблемы булевой выполнимости, были найдены новые комбинаторные структуры, а именно, новые системы расширенно самоортогональных диагональных латинских квадратов порядка 10, которые ранее не были найдены с помощью стандартных комбинаторных алгоритмов (к.т.н. Заикин О.С.).



Получены новые теоретические результаты, относящиеся к сложности пропозициональных доказательств. Конкретно, были определены специальные классы древовидных структур, хорошо подходящие для описания доказательств невыполнимости формул в КНФ, которые строят современные SAT решатели. Сложность каждого конкретного доказательства равна числу ветвей в соответствующей структуре (дерево или лес). Введенные структуры естественным образом комбинируются с лазейками (backdoors), поскольку последние также могут быть представлены деревьями. На языке введенных древовидных структур сформулированы базовые свойства одного класса алгебраических атак на криптографические функции (к.т.н. Семенов А.А.).

С использованием специальных решающих диаграмм (т. н. дизъюнктивные диаграммы) были построены алгоритмы, применимые к решению задачи проверки эквивалентности логических схем (Logical Equivalence Checking, LEC). Разработанные алгоритмы используются на стадии препроцессинга и порождают дополнительные ограничения, являющиеся логическими следствиями исходной формулы, кодирующей LEC. Показано, что добавление таких ограничений к исходной формуле может существенным образом сокращать время доказательства эквивалентности рассматриваемых схем (Кондратьев В.С., к.т.н. Отпущенников И.В., к.т.н. Семенов А.А.).

Разработаны параллельные алгоритмы решения LEC в применении к задаче автоматической генерации тестовых шаблонов (Automated Test Pattern Generation) для булевых схем. Новизна разработанных алгоритмов заключается в оценивании трудности формул, кодирующих соответствующие примеры LEC, через специальные декомпозиции. Декомпозицию наименьшей трудности можно использовать в роли параллельного плана решения исходной задачи. В вычислительных экспериментах были построены полные системы ATPG-тестов для ряда экстремально сложных примеров LEC (конкретно, для нескольких умножителей) (Кондратьев В.С., Кочемазов С.Е., к.т.н. Семенов А.А.).

Предложена методика математического моделирования движения поездов по однопутному сегменту (участку) железнодорожной сети, имеющему сложную структуру. Поезда следуют в двух и более направлениях, с которых поступает разное число пассажирских и грузовых составов в сутки. На участках расположены станции разных типов, включающие один и более парков с различной вместимостью и пропускной способностью, а также специальные пути для погрузки / разгрузки составов. Движение поездов между соседними станциями осуществляется по одному железнодорожному пути в двух направлениях, а для увеличения пропускной способности однопутного сегмента на нем размещены разъезды, и применяется частично-пакетный график движения. Методика основана на использовании специальных сетей массового обслуживания (СеМО), где применяются несколько независимых ВМАР-поток, работа путей между станциями, парков и грузовых путей описывается отдельными узлами СеМО, используются несколько типов заявок для учета различных маршрутов движения поездов (к.т.н. Жарков М.Л., к.ф.-м.н. Лемперт А.А.).

В рамках разработки математической модели оптимального размещения инфраструктурных объектов, обслуживающих всю область, изучены две взаимосвязанные задачи: о покрытии сферы и сферических сегментов с помощью сферических сегментов меньшего радиуса и об их упаковке сферических сегментов в сферу. При этом скорость



движения по сфере не является постоянной. Разработаны и программно реализованы алгоритмы решения указанных задач. Нови алгоритмов заключается совместном использовании геодезической диаграммы Вороного, алгоритм построения которой также является оригинальным, оптико-геометрического подхода и метода отыскания чебышевского центра множества (к.ф.-м.н. Лемперт А.А.).

В рамках задачи по разработке технологии сценарного анализа сложных объектов на основе их математического и имитационного моделирования продолжено развитие результатов, связанных с реализацией компонентно-ориентированного моделирования в платформе создания систем, основанных на знаниях. Разработаны модель спецификации потока работ, учитывающая реализацию методов компонентов с применением REST API веб-сервисов; прототип интерпретатора спецификации потока работ на языке Python; в модуль платформы для регистрации компонентов добавлена возможность описания параметров веб-сервиса; в модуль платформы для семантического аннотирования добавлена возможность использования классов онтологий, импортируемых из формата OWL; внесены изменения в модули хранения данных; обновлены формы графического пользовательского интерфейса (к.т.н. Столбов А.Б.)

Поисковый научный проект «Влияние изменения уровня воды в озере Байкал на состояние экосистемы озера, определение ущерба объектам экономики и инфраструктуры прибрежной территории Республики Бурятия, Иркутской области в зависимости от уровней озера и сбросов Иркутской ГЭС»

Национальный проект «Экология». Федеральный проект «Сохранение озера Байкал»
№ госрегистрации 121122900205-9

Научный руководитель проекта – академик И.В. Бычков

Для определения влияния изменения уровня озера Байкал на экосистему его мелководной зоны и прибрежных территорий, а также нижнего бьефа Иркутской ГЭС потребовалось получить модель прибрежного рельефа. В результате работы была получена совмещённая модель прибрежного рельефа, по которой были построены зоны затопления. Для решения этой задачи были разработаны и применены оригинальные алгоритмы обработки растровых пространственных данных и триангуляций. В рамках работ по построению совмещённых моделей рельефов для построения априорной (до получения дополнительной информации) модели рельефа помимо векторной топоосновы были использованы данные о подводном рельефе озера Байкал, а также лоции реки Ангара и Иркутского водохранилища. Для представления моделей рельефа использовались триангуляционные сети (TIN – Triangular Irregular Network) – одна из основных структур данных ГИС. Для работы с триангуляциями применялась разработанная в ИДСТУ СО РАН программная библиотека для построения и обработки триангуляций Делоне и триангуляций Делоне с ограничениями, которая является быстрой, надёжной и обрабатывает большие наборы данных.

После сопоставления полученных по априорной модели рельефа примерных зон затопления с картами расположения населённых пунктов и других рассматриваемых в проекте искусственных и природных объектов, были выбраны участки территории,



нуждающиеся в уточнении модели рельефа. Для этих участков были приобретены архивные данные воздушного лазерного сканирования (ВЛС) и выполнена аэрофотосъёмка (АФС). Далее была разработана технология включения уточняющих данных в априорную модель рельефа.

На озёрах и водохранилищах полученная уточнённая модель рельефа может непосредственно использоваться для определения зон затопления/осушения при различных уровнях воды. Для рек эта задача оказывается значительно более сложной: чтобы предсказать положение береговой линии при некотором расходе воды, требуется выполнить моделирование установившегося течения на полученной модели рельефа. При этом требуется подобрать дополнительные параметры поверхности (шероховатость) таким образом, чтобы предсказания модели соответствовали наблюдениям, например, положениям береговой линии по данным дистанционного зондирования (спутниковым и другим снимкам) при известных на момент съёмки расходах воды.

На основе полученных данных могут строиться математические модели по различным сценариям водности для научно-практического анализа исследуемых территорий (к.т.н. Хмельнов А.Е., к.т.н. Гаченко А.С.).



**ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОЕКТАМ, ПОДДЕРЖАННЫМ
СОВЕТОМ ПО ГРАНТАМ ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
(стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам, осуществляющим
перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям
модернизации российской экономики на 2021-2023 годы)

**СП-3931.2021.5. Костромин Р.О. «Разработка технологии автоматизации
поставки и конфигурирования виртуализированного программного обеспечения
цифровых двойников природосберегающего оборудования инфраструктурных
объектов»**

Результаты, полученные в 2023 г.:

1. Разработана технология автоматизации поставки и конфигурирования виртуализированного программного обеспечения цифровых двойников природосберегающего оборудования инфраструктурных объектов.
2. Данная технология применена для автоматизации процессов поставки программного обеспечения и конфигурирования ресурсов гибридной вычислительной среды для обеспечения функционирования цифровых двойников природосберегающего оборудования инфраструктурных объектов.

**СП-978.2022.5. Дородных Н.О. «Методы и средство создания графов знаний на
основе семантической интерпретации веб-таблиц в контексте обработки больших
данных»**

Результаты, полученные в 2023 г.:

1. Метод создания предметных графов знаний на основе восстановленной семантики табличных данных, включая поддержку пополнения новыми конкретными сущностями (фактами) уже существующих графов знаний и онтологий общего назначения.
2. Программное средство, реализующее предлагаемые методы.



ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОВЕДЕННЫЕ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ РОССИЙСКОГО НАУЧНОГО ФОНДА

Проект РНФ № 18-71-10001 «Методология и инструментальная платформа разработки систем извлечения данных из произвольных электронных таблиц»

№ гос. регистрации: 122030300485-8

Руководитель проекта – к.т.н. Шигаров А.О.

Предложен метод классификации веб-таблиц по компоновочным типам известной таксономии на основе искусственных нейронных сетей архитектуры DeepTable. Произведен сравнительный эксперимент моделей векторного представления слов, в результате которого была выбрана модель на основе алгоритмов Word2vec, предобученная на корпусах текстов из Wikipedia, аннотациях и полных текстах из статей архива PubMed. Именно эта модель была встроена в наш классификатор. Модифицирован процесс обучения по сравнению с оригинальной версией DeepTable. Это позволило незначительно улучшить результаты классификации. Классификатор был встроен в известный тест производительности методов извлечения данных из веб-таблиц — TOMATE. Полученная оценка производительности предлагаемого решения превзошла базовые решения, встроенные в TOMATE на коллекциях тестовых таблиц DWTC и Wikipedia.

Выполнена адаптация методов обнаружения заголовков веб-таблиц и распознавания их иерархической структуры. Реализованные методы позволяют идентифицировать типы строк таблицы (заголовки, данные, сноски, пустые строки) на основе техники условных случайных полей, а также определять родительско-дочерние отношения между ячейками боковика. Реализован эвристический метод распознавания родительско-дочерних отношений между ячейками боковика. На основе адаптированных методов создано инструментальное средство извлечения данных из веб-таблиц с иерархической компоновкой заголовков на основе адаптированных методов.

На основе предложенной методологии разработано инструментальное средство извлечения данных из веб-таблиц широко-распространенных компоновочных типов, которое, в том числе, распознавание компоновочных типов веб-таблиц, а также распознавание функциональных типов ячеек. Выполнена оценка производительности предлагаемого решения извлечения данных из веб-таблиц широко-распространенных компоновочных типов. В том числе оценивалось качество классификации ячеек на функциональные типы на известных тестовых коллекциях DWTC и Wikipedia. Значения стандартных метрик точности и полноты достигли соответственно 77,2% и 78,9% на тесте DWTC и 75,3% и 84,4% на тесте Wikipedia. Полученные результаты были сопоставлены с имеющимися аналогами. Для этого было произведено внедрение предлагаемого решения классификации таблиц в тест производительности TOMATE. Сравнительный анализ показал, что предлагаемое решение классификации превосходит все известные аналоги за исключением одного метода (Roldán, 2021).

Разработаны алгоритмы семантической интерпретации реляционных веб-таблиц, включая: очистку данных; атомарную классификацию столбцов на категориальные и литеральные типы; идентификацию сущностного (тематического) столбца среди



категориальных; сопоставление значений ячеек с сущностями из ГЗ; сопоставление категориальных столбцов с классами из ГЗ; сопоставление литеральных столбцов с типами данных внешней схемы; сопоставление отношений между столбцами со свойствами (предикатами) из ГЗ; пополнения целевого ГЗ конкретными сущностями (фактами) в формате RDF, извлеченными из аннотированных табличных данных. Новизна предложенных алгоритмов связана с применением комбинации эвристических решений, основанных на лексических сопоставлениях, векторных представлений сущностей ГЗ и адаптации методов предсказания семантических типов (классов) для столбцов таблицы на основе использования ИНС моделей (COLNET и SATO).

Разработано инструментальное программное средство (TabbyLD2) и клиентское веб-приложения (TabbyLD2-Client), реализующие предлагаемые алгоритмы. С использованием предлагаемого решения получена оценка производительности на двух известных тестовых коллекциях: T2D (T2Dv2 Gold Standard) и 2T (Tough Tables). Оценивались отдельно результаты предобработки и семантического аннотирования таблицы. Применялись стандартные метрики: ассурасу — доля корректных случаев (A), точность (P), полнота (R), средняя иерархическая оценка (АН), средняя наилучшая оценка (АР). Полученные следующие значения: классификация столбцов — $A = 99,4\%$ (T2D) и $A = 95,6$ (2T); идентификация сущностного столбца — $A = 92,4\%$ (T2D); семантическое аннотирование ячеек — $P = 76,3\%$, $R = 75,8\%$ (T2D) и $P = 57,6\%$, $R = 52,3\%$ (2T); семантическое аннотирование столбцов — $АН = 74,0\%$, $АР = 62,3\%$ (T2D) и $АН = 32,1\%$, $АР = 31,4\%$ (2T).

Выполнено два тематических исследования по наполнению предметных ГЗ для: (1) анализа рынка труда Иркутской области на платформе TALISMAN (ИСП РАН); (2) прикладной интеллектуальной системы в области поддержки ЭПБ в нефтехимии (АО ИркутскНИИхиммаш). Для первого исследования был подготовлен экспериментальный набор данных, собранный из различных ресурсов и сервисов (Банка вакансий Иркутской области, Росработа, Иркутский МФЦ, hh.ru, superjob.ru, rabota.ru, avito.ru и zarplata.ru), а также тестовый набор данных: «wiki-UKU-49: United Kingdom Universities from Wikipedia» (<https://data.mendeley.com/datasets/33v9tk6jib/1>). Для второго исследования был подготовлен и зарегистрирован набор таблиц: «ISI-167E: Entity spreadsheet tables» (<https://data.mendeley.com/datasets/3gij46mx88/1>). Таблицы из данных наборов были автоматически проаннотированы средством TabbyLD2, в результате чего были извлечены 1080 и 1036 конкретных сущностей соответственно.

Проект РНФ № 22-11-00173 «Исследование и создание численных методов для интегральных и интегро-алгебраических уравнений с приложением к задачам энергетики»

№ гос. регистрации: 122080200026-9

Руководитель проекта — д.ф.-м.н. Булатов М.В.

1. В терминах матричных пучков сформулированы достаточные условия существования и единственности непрерывного решения для линейных ИАУ с переменным нижним пределом интегрирования равным ct ($0 < c < 1$) и гладкими элементами матрицы-ядра. Предложены и обоснованы методы решения данных задач, основанные на квадратурных



формулах правых прямоугольников и на экстраполяционном методе первого порядка (д.ф.-м.н. Булатов М.В., Ботороева М.Н.).

2. Для ИУВ первого рода и ИАУ с гладкими входными данными, которые имеют единственное решение, предложены численные алгоритмы блочного типа. В отличие от стандартных одношаговых методов, предлагаемые методы являются многошаговыми и многостадийными. Проведено исследование на устойчивость двустадийных (двухэтапных) многошаговых методов. Число шагов в данном случае ограничено сверху, так как при этом исследовании возникает задача нахождения всех собственных чисел у матрицы перехода от шага к шагу (д.ф.-м.н. Булатов М.В., Будникова О.С.).

3. Дифференциально-алгебраические уравнения второго порядка (начальная задача), имеющие единственное достаточно гладкое решение, переписаны в виде интегродифференциальной системы уравнений с тождественно вырожденной матрицей перед главной частью, или в виде ИАУ. Для численного решения полученных таким образом задач применены экстраполяционные многошаговые методы. Проведен сравнительный анализ предложенных подходов с классическими неявными многошаговыми методами для исходной системы ДАУ (д.ф.-м.н. Булатов М.В., Будникова О.С.).

4. Рассмотрены дифференциально-алгебраические уравнения с дробной производной и постоянными матричными коэффициентами и определенным образом заданными начальными условиями. Для таких задач сформулированы достаточные условия, при выполнении которых они имеют единственное решение. Анализ основан на записи исходной задачи в виде ИАУ со слабой особенностью. Для численного решения полученных уравнений апробирован простейший алгоритм, основанный на квадратурной формуле правых прямоугольников и методом интегрирования произведения (product integration) (д.ф.-м.н. Булатов М.В., Индуцкая Т.С.).

5. Сформулированы достаточные условия, при выполнении которых квазилинейные ИАУ имеют (локально) единственное достаточно гладкое решение (д.ф.-м.н. Булатов М.В., Соловарова Л.С.).

6. Выделены новые интегральные модели в виде полиномов Вольтерра второй и третьей степени для описания нелинейной динамики систем типа "вход-выход", линейные и квадратичные слагаемые в которых представлены в виде эквивалентных присоединенных дробей. Выполнен анализ погрешности моделирования модифицированными полиномами на модельных примерах. Сформулированы и решены экстремальные задачи по выбору параметра присоединения в зависимости от уровня возмущения в переходных характеристиках динамической системы (д.т.н. Солодуша С.В., Коконова Ю.И.).

Проект РНФ № 22-29-00819 «Разработка методов моделирования, идентификации и управления формациями с распределенными характеристиками»

№ гос. регистрации: 122011800177-6

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Косов А.А.

Дано развитие методов построения точных решений нелинейных систем типа реакции-диффузии, которые используются для моделирования распространения в окружающее пространство распределенных формаций автономных роботов. Разработан



алгоритм решения задачи идентификации распределенных параметров, т.е. локализации «базы», с которой идет распространение на окружающую территорию и фронта волны распространения (т.е. границы с неосвоенной областью, где плотность роботов нулевая) двух взаимодействующих распределенных формаций роботов, основанный на био-инспирированных методах оптимизации и проведении наблюдений группой координируемых автономных роботов – наблюдателей. Предложен иерархический подход к организации динамического мониторинга нестационарной области группой мобильных агентов. Основная идея подхода заключается в том, чтобы разбить миссию на последовательность периодов (смен), по завершению которых производится обмен и актуализация накопленных агентами данных с целью корректировки текущей групповой стратегии.

Произведено развитие подхода к управлению распределенной формацией мобильных роботов при осуществлении мониторинга и покрытия заданной плоской области. Задача управления состоит в том, чтобы построить надежный групповой маршрут для сети роботов, перемещающихся по области с использованием имеющихся транспортных коммуникаций, который обеспечивал бы требуемое качество покрытия при своевременном возвращении каждого робота в точку его первичной дислокации. Помимо того, что первичное размещение роботов не задано и должно осуществляться уже на основе формируемого маршрута, дополнительной особенностью задачи является вероятностный характер самой процедуры покрытия. Сформулирована математическая модель задачи в терминах циклических задач маршрутизации транспортных средств. Разработана и программно реализована проблемно-ориентированная модификация генетического алгоритма, осуществляющая генерацию допустимых решений высокого качества. Высокая скорость работы алгоритма, а также его хорошая масштабируемость обеспечиваются использованием специализированных генетических операторов, схем локального поиска и процедур оценки решений на основе метода Монте-Карло.

Выявлены три класса полей концентрации, для которых локализация источников и восстановление линии уровня обеспечивается в полной мере, частично или не гарантируется для любого заданного временного отрезка. К первому классу относятся поля с выпуклыми линиями уровня, а также те, для которых каждая точка линии уровня отвечает требованиям звездной области относительно одного или нескольких источников. В случае невыпуклых линий уровня обеспечивается только частичное ее восстановление. К последнему классу относятся поля, скорость движения линий уровня которых может превышать максимальную скорость движения роботов на всем протяжении обследовательской миссии или на некоторых ее временных отрезках. Разработан механизм самоорганизации, обеспечивающий миграцию роботов из областей с их избытком в те, где ощущается их недостаток. Предложенная стратегия управления реализована в комплексе TEMAR на неавтономных колесных роботах.

Изучены уравнения движения гиростата Горячева-Сретенского. Найдены все стационарные решения на инвариантном множестве нулевого уровня интеграла площадей и проведен анализ их устойчивости. Для случая совпадения точки подвеса с центром масс и действия гироскопического момента специального вида выполнено интегрирование в квадратурах. Приведены примеры явного представления решений элементарными или



специальными функциями времени. Рассмотрены вопросы моделирования и идентификации параметров для формаций с распределенными характеристиками. Дано развитие методов построения точных решений нелинейных систем типа реакции-диффузии, которые можно использовать для моделирования распределенных формаций.

Проект РНФ № 22-21-00099 «Модели, методы и средства создания интегрируемых проблемно-ориентированных интеллектуальных помощников на основе модельно-ориентированного подхода»

№ гос. регистрации: 122011800202-5

Руководитель проекта – к.т.н. Юрин А.Ю.

Основные полученные результаты:

- 1) Специализированные (платформено-независимые и платформено-зависимые) модели проблемно-ориентированного интеллектуального помощника для решения задач поддержки принятия решений при диагностике систем воздушного судна на примере системы электроснабжения Сухой Суперджет (RRJ-95).
- 2) Алгоритмы трансформации платформено-независимых и платформено-зависимых моделей.
- 3) Прототип программной системы создания интеллектуальных помощников.
- 4) Результаты апробации предложенной технологии при создании интеллектуальных помощников для решения задач технической диагностики воздушного судна на примере системы электроснабжения Сухой Суперджет (RRJ-95).

В рамках проекта № 22-21-00099 Столбовым А.Б. в соавторстве с Юриным А.Ю., Николайчук О.А., Дородных Н.О. для прототипа платформы создания проблемно-ориентированных приложений типа «интеллектуальный помощник» разработаны платформено-независимые модели управления диалогом на основе фреймов и модель разговорного интерфейса диалога; платформено-зависимые модели для платформы JUST AI и Dialogflow; в контексте модельно-управляемого подхода предложены алгоритмы их трансформации.

Проект РНФ № 22-21-00834 «Разработка эвристик для повышения эффективности современных алгоритмов решения проблемы максимальной выполнимости (MaxSAT)»

№ гос. регистрации: 122020900130-2

Руководитель проекта – Кочемазов С.Е.

В рамках проекта № 22-21-00834 проводились исследования по повышению эффективности алгоритма RC2 для решения MaxSAT. Более конкретно, была разработана версия данного алгоритма, которая позволяет на лету включать и отключать CDCL-эвристики в процессе работы алгоритма и исследовано влияние такого рода переключений на эффективность работы RC2. Помимо этого было проведено исследование различных способов построения SAT-кодировок суммы нескольких целых чисел. В частности, путем систематизации наработок в области логических схем для сумматоров и мультиплаеров,



булевой минимизации, а также построения SAT-кодировок для криптографических функций, был сформулирован общий подход к построению кодировок рассматриваемого вида, основанный на идеологии использования т.н. компрессоров (термин широко используется в области разработки логических схем для умножения чисел). Также было проведено вычислительное исследование разработанных способов кодирования в применении к задачам обращения неполнораундовых хеш-функций из семейств MD и SHA, а также к задачам факторизации чисел.

Проект РНФ № 23-28-00844 «Мониторинг сферы регионального туризма на основе анализа данных из открытых источников»

Руководитель проекта – д.т.н. Николайчук О.А.

Основные полученные результаты:

- 1) Аналитический обзор с результатами обоснования методов, средств и платформ для создания инструментального средства оперативного мониторинга региональной сферы туризма.
- 2) Концепция и принципы создания технологии оперативного мониторинга социально-эколого-экономических показателей региональной сферы туризма.
- 3) Онтология предметной области «мониторинг региональной сферы туризма».
- 4) Методы обработки гетерогенных и неструктурированных данных из открытых источников о региональной сфере туризма:
 - сбора и хранения данных из открытых источников для формирования профиля территории,
 - анализа отзывов для выявления тональности и идентификации проблем при оказании туристических услуг,
 - пространственно-временное представление данных, ориентированное на непрограммирующего пользователя.



ГРАНТЫ МИНОБРНАУКИ

Соглашение с Минобрнауки России №075-15-2020-787 от 30.09.2020. Крупный научный проект «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории»

Научный руководитель проекта – академик Бычков И.В.

В рамках направления 1 «Формирование концептуальных основ инструментальной, инфраструктурной и прикладных цифровых платформ экологического мониторинга» в 2023 году разработан ряд инструментальных и прикладных сервисов, расширяющие возможности создаваемой в рамках проекта цифровой платформы поддержки экологических исследований. Компоненты цифровой платформы, реализующие основные этапы исследований (сбор данных, анализ, публикация) были реализованы на предыдущих этапах.

В 2023 г. разработаны инструментальные средства и технологические решения для поддержки конфигурирования и комплексирования инструментов визуализации данных на разных этапах их обработки и анализа. Данные разработки обеспечивают выбор средств визуализации, адекватных результатам расчетов при решении ресурсоемких задач в гетерогенной распределенной вычислительной среде. Суть и новизна разработанных инструментальных средств и технологических решений заключается в обеспечении конфигурирования и настройки используемых графиков и диаграмм. В частности, предложена спецификация параметров процесса визуализации данных на языке JSON, расширяющая описания предметных областей научных приложений. В качестве базового программного обеспечения для визуализации НПП приложений и расчетных данных используются соответственно библиотеки Graphviz и Highcharts. В сравнении с известными системами управления НПП разработанные инструментальные средства и технологические решения обеспечивают существенное повышение качественных характеристик процесса визуализации. Применение данных разработок позволяет упростить процессы визуализации для конечных пользователей научных приложений.

Реализованы инструменты и технологические решения, обеспечивающие гибкий сервис-ориентированный доступ к распределенным научным приложениям, в том числе к приложениям, использующим технологию IMDG для обеспечения сверхвысокой скорости доступа к большим данным. Суть и новизна разработанных инструментов и технологических решений заключается в обеспечении комплексной поддержки автоматизации процессов планирования вычислений в гетерогенной распределенной вычислительной среде, назначения ресурсов, балансировки их нагрузки при создании IMDG кластера, запуска НПП и управления ими с помощью WPS-сервисов. При обработке данных на используемых ресурсах достигается ускорение вычислений близкое к линейному и рациональное распределение вычислительной нагрузки. Обеспечение надежности вычислений в гетерогенной распределенной среде осуществляется за счет применения непрерывной интеграции прикладного и системного ПО. Применение данных инструментов и технологических решений позволяет существенно сократить трудозатраты на подготовку и проведение крупномасштабных экспериментов предметными специалистами.



Разработан прототип веб-ориентированного сервиса, обеспечивающего удаленный доступ к инструментальной платформе извлечения данных из таблиц рабочих книг, управляемого пользовательскими правилами (TabbyXL). Реализована следующая функциональность: загрузка исходных данных (рабочих книг Excel и CRL правил) на сервер, исполнение пользовательских правил, выгрузка результатов (извлеченных структурированных данных). Технологические решения, разработанные в рамках проекта, могут быть положены в основу создания новых информационных технологий и программных продуктов сбора и накопления табличных данных из неструктурированных источников по экологическому мониторингу БПТ. Сегодня, сталкиваясь с рассматриваемыми в проекте задачами, предметные специалисты и разработчики прибегают к инструментальным средствам общего назначения, часто предлагая собственные реализации однотипных задач. В сравнении с последними, предлагаемые решения позволяют сократить время разработки целевого ПО. Последнее особенно важно в тех случаях, когда необходимо в короткие сроки и при недостатке ресурсов разработать ПО для массовой обработки табличных данных.

На основе алгоритмов обработки триангуляций разработаны оригинальные методы хранения и обработки растровых и триангуляционных цифровых моделей рельефа. В рамках работ были расширены возможности программного обеспечения для работы с форматом MRG (авторский формат для эффективного хранения растровых данных большого объема) – поддержано создание файлов объемом в сотни гигабайт, ускорена обработка таких объемов данных за счёт распараллеливания. Примерами новых возможностей является успешная работа с глобальными моделями рельефа с разрешением 1"/пиксель и глобальными композитными изображениями с разрешением 10м/пиксель. Разработана консольная программа MRGCmd, позволяющая выполнять массовую (пакетную) обработку большого числа файлов. Дополнительно был реализован WPS-сервис для доступа к фрагментам файлов MRG. Для работы с ЦМР, заданными на нерегулярных сетках разработана библиотека для построения триангуляций Делоне и триангуляций Делоне с ограничениями. С использованием этой библиотеки реализована пакетная программа TRGCmd, предназначенная для создания сценариев пакетной обработки файлов триангуляций. Для работы с моделями рельефа, представленными триангуляциями разработан ряд оригинальных алгоритмов и методов хранения.

Создана комбинированная цифровая модель рельефа (совмещенная модель надводного с подводным рельефов) ряда изучаемых объектов на основе разнородных данных: векторные карты, лоции дна водохранилищ, дополнительная полевая съемка рельефа на ключевых участках, данные беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). При построении уточненной модели рельефа побережья озера Байкал, Иркутского водохранилища и нижнего бьефа Иркутской ГЭС была использована пакетная обработка триангуляции, что позволило создать большие объемы данных за короткое время. Были разработаны оригинальные алгоритмы и методы построения совмещенной модели рельефа и её уточнения по данным воздушного лазерного сканирования (ВЛС) и аэрофотосъемки (АФС). Данные технологии можно масштабировать на любые территории и использовать для получения комплексного рельефа в задачах получения зон затопления или обмелениях и



решения других задач, которые требуют информацию о подводном и наземном рельефах, например задач гидродинамического моделирования.

Разработан метод классификации подстилающей поверхности на данных Sentinel-2 с учетом рельефа. Для повышения точности классификации космоснимков на основе нейронной сети расширены входные данные дополнительными слоями, такими как высота над уровнем моря, уклон, экспозиция. Разработаны алгоритмы подготовки данных на основе SRTM, в рамках которых данные приводятся к разрешению 10м на пиксель. Сформирована обучающая выборка, на основе которой проведено обучение нейронной сети ResNet50 и проведено тестирование. Результаты тестирования показывают улучшение качества классификации пары классов «Голая скала» и «Жилая зона». С помощью разработанных алгоритмов и сервисов при дальнейшем развитии и активном использовании возможно оперативно формировать карты подстилающей поверхности, проводить анализ динамики состояния сельхозугодий, лесных хозяйств, паводковой обстановки, градостроительной деятельности. Результаты могут быть полезны научно-исследовательским организациям, органам государственной власти и местного самоуправления.

Разработан метод формирования векторных карт подстилающей поверхности с разбивкой по административному делению. На вход методу подается карта классификации, на выходе получается полигональный векторный слой с указанием классов и административного деления. Данный метод позволяет произвести генерализацию результатов классификации с сохранением границ объектов. Метод преобразует идентификатор класса связанных компонентов, с количеством пикселей меньше, чем заданный порог. В результате работы метода сокращается число объектов векторизации классификации изображения размером 10980 на 10980 пикселей на 60%, что соответствует ~80 и ~26 тыс. объектов. Результаты работ по построению карты подстилающей поверхности соответствуют аналогичными разработками от мировых компаний, например, проект Dynamic World от Google, что подтверждается сопоставимыми показателями точности классификации типов земной поверхности, аналогичным набором определяемых классов.

Разработанная совокупность методов и технологий цифровых платформ, позволяет объединить в единую информационную среду на уровне алгоритмизированного сетевого взаимодействия независимых участников экологического мониторинга, что позволяет снизить транзакционные (временные) издержки и повысить эффективность проведения исследований экологической обстановки на БПТ. Инструментальная и инфраструктурная платформы включают в себя систему алгоритмизированных взаимоотношений, объединенных единой информационной средой, модели и технологические разработки, пакеты цифровых технологий, сервисы обработки больших объёмов пространственно-временных данных, методы организации и планирования WPS-сервисов. Новизна предложенных решений заключается в том, что в отличие от существующих систем в разработанной в рамках проекта ЦП реализовано программное взаимодействие сервисов и автоматизация их композиции, что помогает значительно упростить взаимодействие участников проекта и ускорить выполнение исследований.

Разработан метод инициализации параметров моделей лесного ландшафта для модельных участков БПТ. В качестве модельного выбрано Голоустненское лесничество, территория которого покрыта лесами на 95%. Создана новая методика комплексирования



разноформатных данных ДЗЗ (измерения биомассы, классификация типов земель) с открытыми данными, необходимыми для расчетов по лесным моделям (климатические, почвенные). Информация о пространственной динамике биомассы различных пород деревьев помогает увидеть будущее состояние территории, спрогнозировать изменения в структуре и функционировании лесов в ответ на климатические, антропогенные и другие факторы. Основные из использованных наборов данных являются глобальными, поэтому разработанная методика может использоваться для других областей исследования. В дальнейшем планируется добавить в модель информацию о рубках, пожарах и других воздействиях; провести расчеты по расширениям LANDIS-II, позволяющим прогнозировать запасы углерода в лесу; учитывать разные климатические сценарии.

Сформирован набор данных о лесных пожарах и условиях их возникновения за период 2010-2022 гг. на БПТ. Данные содержат следующую информацию о пожаре: дата, координаты, территория, площадь, муниципалитеты, плотность населения, лесное хозяйство, метеостанция, количество осадков, сила ветра, относительная влажность воздуха, температура воздуха, температура точки росы, направление ветра, атмосферное давление, зоны лесосеменного районирования, класс опасности погоды, снежность, сухая гроза, расстояния до автомагистрали, железной дороги и населенного пункта. Описанный набор данных создан впервые. Данные необходимы для дальнейшего решения задач: анализ и оценка риска возникновения пожаров, прогнозирование динамики пожаров и их последствий, а также управление пожарами с учетом физико-географических характеристик территории.

Новизна научно-технических результатов, достигнутых при выполнении работ отчетного периода состоит, как в целом в реализации совокупности сервисов предоставления данных и их обработки, поддерживающей программное взаимодействие, так и в каждом сервисе отдельно, решающем востребованные задачи для экологического мониторинга БПТ. Все сервисы реализованы с помощью компонентов инструментальной цифровой платформы и поддерживают разработанные интерфейсы и сервисы обмена данными, что позволяет упростить интеграцию сервисов и решение сложных задач. Созданные сервисы встроены в ЦП и могут быть применены пользователями для разных задач. Транзакционные издержки, в данном случае временные, уменьшены за счет выделения вычислительных ресурсов, находящихся в постоянном доступе, снижения человеческого участия, стандартизации протокола вызова сервисов и т.д. Созданные сервисы, реализуют современные методы обработки данных и предоставляют уникальные данные экологического мониторинга БПТ.

Кроме того, в ходе выполнения проекта были разработаны следующие тематические сервисы, алгоритмы и модели для поддержки цифрового экологического мониторинга БПТ и озера Байкал:

- анализа лесных ресурсов;
- моделирования динамики лесных ресурсов на основе ДЗЗ;
- мониторинга биоразнообразия;
- мониторинга опасных геологических процессов;
- мониторинга загрязнения атмосферы по данным опорных станций;
- мониторинга загрязнения атмосферы по данным спутника Sentinel-5P;
- мониторинга грозовой активности;



- мониторинга загрязнения водных экосистем;
- анализа и прогнозирования риска лесного пожара;
- регистрации укусов иксодовыми клещами;
- оценки влияния лесных пожаров на органы дыхания;
- модель динамики популяции вредителей леса;
- выявления и оценки изменений состояния растительного покрова;
- модель транспортной инфраструктуры на основе массового обслуживания;
- сервис предоставления пространственно-временных 2D карт и цифровых массивов распределения аэрозольных примесей атмосферы;
- сервис проведения атмосферной коррекции спутниковых данных.

Всего разработано более 50 сервисов предоставления данных, касающихся разных видов мониторинга. Перечень доступен по адресу <https://geos.icc.ru/spatial>. Разработано более 10 сервисов обработки данных, включая сервисы обработки данных ДЗЗ, моделирования распространения загрязнений и т.д. Перечень доступен по адресу <https://geos.icc.ru/wps/list>.

Разработано инструментальное средство, реализующее технологические решения для поддержки конфигурирования и комплексирования инструментов визуализации данных. Применение данного средства позволило существенно сократить время на подготовку данных и их визуализацию в процессе проведения экспериментов.

Разработано инструментальное средство, реализующее технологические решения для гибкого сервис-ориентированного доступа к распределенным научным приложениям, в том числе к приложениям, использующим технологию IMDG для обеспечения сверхвысокой скорости доступа к большим данным. Автоматизация применения технологии IMDG за счет использования данного средства позволила существенно сократить время выполнения экспериментов.

Разработанные инструментальные средства успешно использованы для эффективного решения ряда научных и прикладных задач специалистами по исследованию живучести энергетических систем.

Разработан набор данных о лесных пожарах и условиях их возникновения за период 2010-2022 гг. на БПТ, в том числе данных о рельефе и подстилающей поверхности. Данные об условиях возникновения лесных пожаров содержат информацию о метеорологических параметрах, рельефе, типе лесов, социальных факторах (расстояния до дорог и населенных пунктов, плотность населения). Набор данных предназначен для дальнейших исследований и решения задач анализа причин возникновения, построения карт риска, прогнозирования динамики пожаров и др.



РАБОТЫ, ВЫПОЛНЕННЫЕ ПО ПРОГРАММАМ РАЗВИТИЯ ЦЕНТРОВ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ (ЦКП)

Обеспечение функционирования и развитие ЦКП «Интегрированная информационно-вычислительная сеть Иркутского научно-образовательного комплекса» (ИИВС ИРНОК)

Руководитель – ак. Бычков И.В.

Отв. исполнитель – к.т.н. Маджара Т.И.

Центр коллективного пользования

В отчетном году продолжал функционировать Телекоммуникационный центр коллективного пользования «Интегрированная информационно-вычислительная сеть Иркутского научно-образовательного комплекса» (ИрНОК). Фактическая загрузка оборудования ЦКП по данным официального Отчета о деятельности ЦКП в 2023 г. составила 100 %.

Развитие инфраструктуры

Информационно-вычислительная инфраструктура. В рамках проекта «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории» вычислительная и виртуальная инфраструктуры ЦКП (рис. 18) получили свое развитие в виде создания высокоскоростного (10/40/100 Gb/s) IP-сегмента с установкой в нем новой системы хранения данных Infortrend GS4000. Данная СХД с интерфейсами пропускной способностью 100Gb/s предназначена для высокоскоростного доступа к оперативным данным и полностью собрана на NVMe-дисках, что позволяет значительно ускорить расчеты, ведущиеся на GPU-кластере проекта.

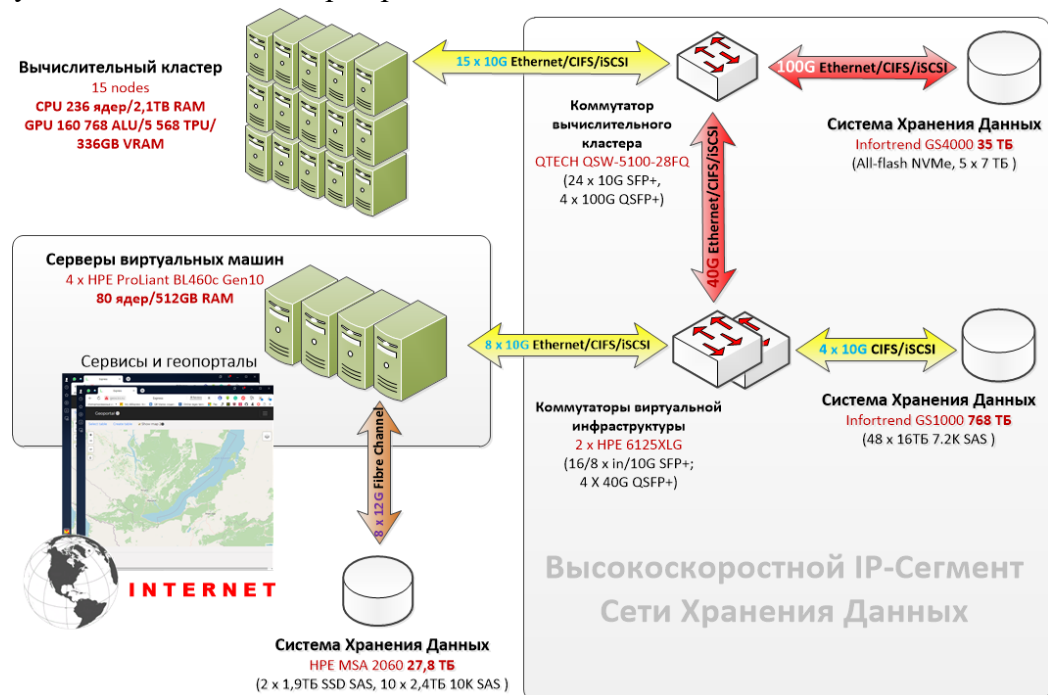


Рис. 18. Инфраструктура вычислительного сегмента



Сетевая инфраструктура. В рамках проведения работ по улучшению информационной безопасности оптимизирована сетевая инфраструктура. В частности в сети выделен демилитаризованный (DMZ) сегмент, централизованно защищенный межсетевым экраном, а так же системой обнаружения и предотвращения вторжений SNORT. В защищенный сегмент перемещены виртуальные машины, а так же физические и VPN-серверы, имеющие публичный доступ в глобальные сети. Реконфигурация сетевой инфраструктуры, за счет организации централизованной защиты позволила существенно ускорить время отработки рекомендаций по информационной безопасности, поступающих на регулярной основе от Минобрнауки РФ и Национального координационного центра по компьютерным инцидентам. Кроме того, такая реконфигурация упрощает дальнейшее внедрение современных технических средств обнаружения и предотвращения сетевых атак, таких как WAF (web application firewall) и межсетевых экранов нового поколения (NGFW).

Инженерная инфраструктура. Ввиду технологических особенностей построения комплексных информационно-вычислительных инфраструктур Центров обработки данных, бесперебойное энергоснабжение является наиважнейшим фактором информационной безопасности. Для этих целей все сетевые устройства, серверы и системы хранения данных корпоративного класса оснащены несколькими независимыми блоками питания. В отчетном году осуществлено полное дублирование линий энергоснабжения таких серверов и систем хранения данных ЦКП от двух независимых источников бесперебойного питания, один из которых в своей инфраструктуре дополнительно содержит резервный элемент.

Техническое обслуживание, сопровождение и информационно-консультационное обеспечение.

В течение года проводилось плановое техническое обслуживание, модернизация и сопровождение локально-вычислительных и телефонных сетей, каналов связи, серверов, программно-аппаратных комплексов, систем и сетей хранения данных, виртуальной инфраструктуры, систем видеоконференц-связи, а также инженерно-технического оборудования.

Осуществлялась информационно-консультационная поддержка пользователей программно-аппаратных комплексов, сетей хранения данных и виртуальной инфраструктуры.

Обеспечение функционирования и развитие ЦКП «Иркутский суперкомпьютерный центр СО РАН» (ИСКЦ) (академик Бычков И.В., к.т.н. Новопашин А.П., к.т.н. Костромин О.Р., Джангиров Б.И.-о., Марданшин В.М.)

1. Запущен в эксплуатацию вычислительный сервер с графическими процессорами NVidia A100 «Ampere», предназначенный для решения задач высокопроизводительных вычислений и искусственного интеллекта.



2. Обновлено данные о производительности вычислительного кластера «Академик В.М. Матросов» в рейтинге Топ50 <http://top50.supercomputers.ru/list> (35-е место в редакции № 38 от 28.03.2023).
3. Установлено оборудование для подключения ЦКП ИСКЦ к Национальной исследовательской компьютерной сети России (НИКС).
4. Выполнен комплекс мер по обеспечению информационной безопасности ЦКП ИСКЦ в условиях возрастающих угроз для объектов критической инфраструктуры.
5. В рамках подготовки программы комплексного развития СО РАН до 2035 года разработан паспорт проекта «Центр коллективного пользования «Иркутский суперкомпьютерный центр СО РАН» (2-я очередь)» как одного из флагманских проектов по развитию научно-исследовательской инфраструктуры СО РАН.
6. Проведен комплекс мероприятий по обеспечению бесперебойного функционирования оборудования ЦКП ИСКЦ, в том числе: сопровождение системного программного обеспечения вычислительного кластера «Академик В.М. Матросов»; плановое техническое обслуживание оборудования вычислительной и инженерной инфраструктуры; текущий ремонт оборудования; модернизация отдельных подсистем, в т.ч. системы автоматического газового пожаротушения.
7. Выполнены работы по обращениям пользователей ЦКП ИСКЦ: регистрация и инструктаж новых пользователей, подготовка и заключение договоров об оказании вычислительных услуг, обработка обращений пользователей в службу технической поддержки центра.
8. Проведены экскурсии в ЦКП ИСКЦ в рамках Дня науки, научных мероприятий ИДСТУ СО РАН и в целях популяризации науки среди молодежи.
9. Проведены работы по поддержанию в актуальном состоянии сайта ЦКП ИСКЦ и документов, регламентирующих деятельность центра.
10. Принято участие в проектной сессии Минобрнауки России по развитию высокопроизводительных вычислений, грид-технологий и суперкомпьютерной инфраструктуры в Российской Федерации.
11. Принято участие в круглом столе, посвященном развитию сети научных суперкомпьютерных центров коллективного пользования, в рамках VII Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и высокопроизводительные вычисления – 2023» и подготовке итоговой резолюции.
12. Произведен сбор и анализ отчетов пользователей ЦКП ИСКЦ, подготовлен отчет о деятельности ЦКП ИСКЦ по запросу Минобрнауки России.



ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

В 2023 г. получено 11 свидетельств о государственной регистрации результатов интеллектуальной деятельности:

1. Банщиков А.В. Символьное получение уравнений движения неголономных механических систем: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023611463 от 19.01.2023. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.

2. Бирюков В.В., Коконова Ю.И., Солодуша С.В. Программное средство для построения динамической модели с помощью квадратичных полиномов Вольтерра и цепных дробей: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023618626 от 25.04.2023. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.

3. Воскобойников М.Л. Планировщик схем решения задач для распределенных пакетов прикладных программ: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023685789 от 30.11.2023. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.

4. Ву Х.З., Жарков М.Л., Казаков А.Л. Программа расчета показателей эффективности транспортных объектов и сетей на основе теории массового обслуживания: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023684839 от 19.11.2023. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.

5. Индуцкая Т.С. Метод правых прямоугольников для численного решения дифференциально-алгебраических уравнений произвольного индекса с производной Римана-Лиувилля, имеющих постоянные матричные коэффициенты: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023616037 от 21.03.2023. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.

6. Костромин Р.О. Модуль визуализации и анализа временных рядов системы мониторинга: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023685787 от 30.11.2023. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.

7. Михайлов А.А. TAGGEDPDF: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023618627 от 26.04.2023. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.

8. Попова А.К. Программа для определения возраста деревьев по данным дистанционного зондирования: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023689315 от 09.12.2023. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.

9. Феоктистов А.Г. Имитационная модель вероятностной нейронной сети для классификации заданий в системе мониторинга: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023685788 от 30.11.2023. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.



10. Фёдоров Р.К. Программная система выполнения WPS сервисов: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2024611171 от 24.12.2023. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.

11. Фёдоров Р.К., Авраменко Ю.В. WPS сервис классификации космоснимков Sentinel-2: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2024610919 от 24.12.2023 М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.

НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Ученый совет

Ученый совет Института утвержден приказом директора ИДСТУ СО РАН № 15 от 27.05.2022 г. В 2023 году проведено 5 заседаний, на которых рассматривались вопросы научной и научно-организационной деятельности. Заслушаны отчеты о результатах НИР по плановым темам Института за 2023 г.; рассмотрены заявки, поданные на замещение должностей научных работников; утверждены темы НИР, выдвигаемые для участия в конкурсах.

Диссертационный совет

Диссертационный совет 24.1.060.01 утвержден при ИДСТУ СО РАН приказом Министерства науки и высшего образования РФ № 1324/нк от 22.06.2023 с правом принимать к защите диссертации по специальностям:

1.1.2 – Дифференциальные уравнения и математическая физика (физико-математические науки);

2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (физико-математические науки);

2.3.5 – Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей (технические науки).

Научные кадры

По состоянию на 31 декабря 2023 г. в Институте работали 138 человек, из них 77 – научные работники, в том числе 1 действительный член РАН, 1 член-корреспондент РАН, 23 доктора наук и 44 кандидата наук.

Возрастная структура кадров по категории штатных научных работников приведена в таблице

Научные работники	до 39 лет	40–60 лет	61–64 лет	65 лет и старше
Академики	–	–	1	–
Чл.-к. РАН	–	–	–	1
Доктора наук	–	8	2	13
Кандидаты наук	14	24	3	3
Без ученой степени	7	1	–	–
Всего	21	33	6	17

Средний возраст:	докторов наук	– 66,8
	кандидатов наук	– 46,0
	научных работников без степени	– 34,0

Всего в 2023 году (по состоянию на 31.12.2023) в Институте обучалось 8 аспирантов.

Конференции и семинары

Институтом в 2023 году организованы и проведены:



1. V Международный семинар по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (IV International Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments, ICCS-DE 2023), 4-8 июля 2023 года, г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН (смешанный формат).

2. 39 Международная конференция Ляпуновские чтения, 4–8 декабря 2023 года, г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН.

Связи с вузами

В целях интеграции высшего образования и фундаментальной науки для повышения эффективности подготовки научных и научно-педагогических кадров, закрепления молодежи в сфере науки и образования, сохранения преемственности поколений в науке и образовании в ИДСТУ СО РАН функционирует Научно-образовательный центр «Информационно-вычислительные технологии и системы» (НОЦ ИВТС).

Сотрудники Института возглавляют 1 кафедру (кафедра Информационных технологий – базовая ИДСТУ СО РАН) и преподают в Институте математики, экономики и информатики Иркутского государственного университета, Иркутском национальном исследовательском техническом университете, Иркутском государственном университете путей сообщения, на факультете бизнес-коммуникаций и информатики Иркутского государственного университета, в Бурятском государственном университете, в Балтийском федеральном университете имени Иммануила Канта.

Членство в советах РАН и СО РАН

- Президиум РАН – ак. И.В. Бычков.
- Президиум СО РАН – ак. И.В. Бычков.
- Объединенный ученый совет СО РАН по математике и информатике – чл.-к. РАН А.А. Толстоногов.
- Президиум Иркутского филиала СО РАН – ак. И.В. Бычков, чл.-к. РАН А.А. Толстоногов.
- Совет по сотрудничеству Сибирского отделения РАН с Академией наук Монголии ак. И.В. Бычков.
- Объединенный ученый совет СО РАН (ОУС СО РАН) по машиностроению, механике, энергетике и процессам управления – к.т.н. Н.Н. Максимкин.
- Объединенный ученый совет СО РАН по нанотехнологиям и информационным технологиям – ак. И.В. Бычков.
- Научный совет РАН по глобальным экологическим проблемам – ак. И.В. Бычков.
- Бюро ОНИТ РАН – ак. И.В. Бычков.
- Научный совет СО РАН по проблемам озера Байкал – ак. И.В. Бычков (зам. председателя).
- Приборная комиссия СО РАН – ак. И.В. Бычков.
- Совет СО РАН по программе «Цифровая экономика» – ак. И.В. Бычков (председатель).
- Комиссия РАН по научно-организационной поддержке базовых школ РАН – ак. И.В. Бычков.



- Рабочая группа (научно-технического совета) СО РАН по научному сопровождению исполнения пункта 4 перечня поручений Президента РФ от 02.07.2019 № Пр-1186 – ак. И.В. Бычков.
- Совет по региональной политике РАН – ак. И.В. Бычков.
- Бюро Совета РАН по координации научных исследований по направлению «стратегические информационные технологии, включая вопросы создания суперкомпьютеров и разработки программного обеспечения» – ак. И.В. Бычков.
- Межакадемический совет по проблемам развития Союзного государства – ак. И.В. Бычков.
- Объединенный ученый совет СО РАН по нанотехнологиям и информационным технологиям – д.ф.-м.н. А.К. Казаков.
- Объединенный совет научной молодежи ИрФ СО РАН – к.т.н. А.А. Михайлов.
- Комитет РАН по Программе Организации Объединенных наций по окружающей среде – ак. И.В. Бычков.

Членство в национальных и международных научных организациях

- Mathematical Optimization Society (MOS) – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский.
- Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM) – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский.
- Mongolian Mathematical Society – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский.
- The International Physics and Control Society (IPACS) – д.ф.-м.н. В.Д. Иртегов.
- International Society of Difference Equations (ISDE) – к.ф.-м.н. А.К. Свинин.
- International Association of Applied Mathematics and Mechanics (GAMM) – д.ф.-м.н. А.Л. Баландин.
- Российский национальный комитет по автоматическому управлению (РНКАУ) – д.ф.-м.н. Лакеев А.В., д.ф.-м.н. Финогенко И.А.
- Российская ассоциация искусственного интеллекта – к.т.н. А.Б. Столбов.
- Association for Computing Machinery (ACM) – к.т.н. О.С. Заикин, С.Е. Кочемазов.

Д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский – почётный профессор Национального университета Монголии.

Д.т.н. А.Ф. Берман – приглашённый профессор Китайского университета геологических наук (факультет промышленной безопасности и защиты окружающей среды).

Членство в редколлегиях научных изданий

- Автометрия – ак. И.В. Бычков.
- Актуальные проблемы прикладной дискретной математики – д.т.н. Г.А. Опарин.
- Вестник Бурятского государственного университета. Серия «Математика, информатика» – д.ф.-м.н. А.В. Лакеев.
- Вестник компьютерных и информационных технологий – ак. И.В. Бычков.
- Вестник НГУ. Информационные технологии – ак. И.В. Бычков.



- Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский.
- Вестник Уральского государственного университета путей сообщения – д.ф.-м.н. А.Л. Казаков.
- Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии – д.т.н. Г.А. Опарин.
- Вычислительные технологии – ак. И.В. Бычков.
- Известия Иркутского государственного университета. Серия «Математика» – ак. И.В. Бычков, д.ф.-м.н. В.А. Дыхта, д.ф.-м.н. А.Л. Казаков, чл.-к. РАН А.А. Толстоногов (гл. редактор).
- Известия Байкальского государственного университета – ак. И.В. Бычков.
- Информационные технологии – ак. И.В. Бычков.
- Информационные и математические технологии в науке и управлении – д.т.н. А.Ю. Горнов, д.ф.-м.н. А.Л. Казаков.
- Искусственный интеллект и принятие решений – ак. И.В. Бычков.
- Подводные исследования и робототехника – ак. И.В. Бычков.
- Программные системы: теория и приложения – ак. И.В. Бычков.
- Сибирский журнал индустриальной математики – чл.-к. РАН А.А. Толстоногов.
- Системы управления, связи и безопасности – к.т.н. А.Г. Феокистов.
- Современные технологии. Системный анализ. Моделирование – ак. И.В. Бычков.
- Управление большими системами – ак. И.В. Бычков, д.ф.-м.н. А.В. Лакеев.
- Chinese Journal of Artificial Intelligence – ак. И.В. Бычков.
- Экология и защита окружающей среды (КНР) – д.т.н. А.Ф. Берман.
- Computer Communication & Collaboration – к.т.н. А.Ю. Юрин.
- Discussiones Mathematicae, Differential Inclusions, Control and Optimization – чл.-к. РАН А.А. Толстоногов.
- Industry 4.0 – ак. И.В. Бычков.
- Journal of Optimization Theory and Applications (Springer) – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский.
- Journal of Communications in Optimization Theory – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский.
- Numerical Algebra, Control and Optimization, USA – д.т.н. А.Ю. Горнов.
- System Analysis and Mathematical Modeling – д.ф.-м.н. А.Л. Казаков.
- Topical Advisory Panel Member: «Symmetry. Basel» – д.ф.-м.н. А.Л. Казаков.

**Членство в научно-технических советах и
комиссиях органов государственной власти**

- Советник Губернатора Иркутской области – ак. И.В. Бычков.
- Координационный научный совет при Губернаторе Иркутской области – ак. И.В. Бычков (зам. председателя), д.ф.-м.н. А.Л. Казаков.
- Член молодежной секции Координационного научного совета при губернаторе Иркутской области – к.ф.-м.н. М.В. Старицын.
- Член регионального экспертного совета Иркутской области (ученый секретарь) – д.ф.-м.н. А.Л. Казаков.



- Координационный совет по развитию цифровой экономики при Губернаторе Иркутской области – ак. И.В. Бычков.
- Экспортный совет при Губернаторе Иркутской области – ак. И.В. Бычков.
- Рабочая группа для формирования предложений и замечаний в проект Федерального закона «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране озера Байкал» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» – ак. И.В. Бычков.
- Межведомственная рабочая группа по проблемным вопросам постановки на кадастровый учет границ населенных пунктов, расположенных в центральной экологической зоне Байкальской природной территории в Иркутской области – ак. И.В. Бычков.
- Межведомственная рабочая группа по вопросу доработки проекта постановления Правительства РФ «Об утверждении перечня видов деятельности, запрещенных в центральной экологической зоне Байкальской природной территории» – ак. И.В. Бычков.
- Межведомственная рабочая группа по организации работ по ликвидации накопленного вреда окружающей среде, образовавшегося в процессе деятельности ОАО «Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат» – ак. И.В. Бычков.
- Научно-консультационный совет при Байкальской межрегиональной природоохранной прокуратуре – ак. И.В. Бычков.
- Градостроительный совет при Губернаторе Иркутской области – ак. И.В. Бычков.
- Правление Торгово-промышленной палаты Восточной Сибири – ак. И.В. Бычков.
- Правление Иркутского регионального отделения Российского союза промышленников и предпринимателей – ак. И.В. Бычков.
- Комитет по вопросам искусственного интеллекта при Комиссии Российской Федерации по делам ЮНЕСКО – ак. И.В. Бычков.
- Комитет Всемирного Русского Народного Собора по научно-технологическому развитию – ак. И.В. Бычков.
- Научно-технический совет при Главном управлении МЧС по Иркутской области – ак. И.В. Бычков, д.т.н. А.Ф. Берман.
- Научный совет Российского научного общества анализа риска – д.т.н. А.Ф. Берман.
- Российское научное общество анализа риска (РНОАР) – д.т.н. А.Ф. Берман, д.т.н. О.А. Николайчук, к.т.н. А.И. Павлов., к.т.н. А.Ю. Юрин, Г.С. Малтугуева.
- Иркутское отделение Российского научного общества анализа риска – д.т.н. А.Ф. Берман (председатель).
- Иркутское отделение Российской ассоциации искусственного интеллекта – д.т.н. О.А. Николайчук (председатель).
- Российская ассоциация искусственного интеллекта (РАИИ) – д.т.н. А.Ф. Берман, д.т.н. О.А. Николайчук, к.т.н. А.Ю. Юрин.
- Молодежная секция Координационного совета по науке при губернаторе Иркутской области – к.ф.-м.н. М.В. Старицын.
- Совет молодых учёных и специалистов (СМУС) при губернаторе Иркутской области – к.т.н. А.А. Михайлов, к.ф.-м.н. С.П. Сорокин.
- Научно-технический совет при Минобрнауки по вопросам проведения научных исследований по влиянию изменений уровня воды озера Байкал на состояние его



уникальной экосистемы, рассмотрению результатов указанных научных исследований – ак. И.В. Бычков.

- Управляющий совет по комплексному развитию Байкальского муниципального образования при Губернаторе Иркутской области – ак. И.В. Бычков.
- Координационный совет по развитию профессиональных квалификаций и внедрению регионального стандарта кадрового обеспечения промышленного роста при Губернаторе Иркутской области – ак. И.В. Бычков.
- Правление Экологического фонда Иркутской области «Сохрани Байкал» – ак. И.В. Бычков.

Экспертная деятельность

Пятеро научных сотрудников ИДСТУ СО РАН являются экспертами РАН, четверо научных сотрудников – эксперты РНФ, один научный сотрудник – эксперт РИНКЦЭ.



МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ И СОВМЕСТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ С ЗАРУБЕЖНЫМИ НАУЧНЫМИ УЧРЕЖДЕНИЯМИ

1. Выезд в зарубежные командировки.

В 2023 году сотрудниками ИДСТУ СО РАН совершено 14 выездов в зарубежные командировки в Монголию и Китай для участия в работе международных конференций и семинаров, проведения совместных научных исследований и решения научно-организационных вопросов.

2. Сотрудничество с зарубежными научными центрами.

Проводились научные исследования по договору между ИДСТУ СО РАН и представительством компании Huawei в России ООО «Техкомпания Хуавэй» (Huawei Technologies Co. Ltd) на выполнение научно-исследовательской работы «Решение задач управления энергетическими системами», руководитель проекта главный научный сотрудник лаборатории 6.1 Невыпуклой оптимизации д.ф.-м.н. Сидоров Д.Н.

Ак. Бычковым выполнялись работы по грантовому соглашению с Яньтайским университетом (Китай) по созданию Китайско-Российского математического центра.

В настоящее время ИДСТУ СО РАН имеет 13 действующих соглашений и договоров о научном и образовательном сотрудничестве, в том числе с:

- Институтом национального развития при Администрации Президента Монголии и МАН (Монголия);
- Приштинским университетом в Косовской Митровице (Республика Сербия);
- Школой бизнеса Монгольского государственного университета (Монголия);
- Caton Global Technology Co Ltd (Китай);
- Институтом математики Вьетнамской академии наук и технологий (Вьетнам) и Институтом математики Национального университета Монголии (Монголия);
- K.N. Toosi University of Technology (Иран).
- Научно-исследовательским и инновационным центром Университета Седжонг (Республика Корея);
- Xiamen Kuaishangtong Technologies Co., Ltd (Китай);
- Ляонинским университетом (Liaoning Shihua University) (Китай);
- Объединенным институтом проблем информатики НАН Беларуси (Республика Беларусь);
- Институтом математики и цифровых технологий Академии наук Монголии (Монголия);
- Институтом астрономии и геофизики Академии наук Монголии (Монголия);
- Институтом географических наук и исследований природных ресурсов Академии наук Китая (Китай).



3. Приём иностранных учёных.

№ п	ФИО	Страна	Организация, должность	Дата визита	Цель визита
11	Ши Шоулинь, Shi Shoulin	КНР	Академия общественных наук провинции Цзилинь КНР, вице-президент, главный научный сотрудник	03.07.2023	Обсуждение вопросов возможного научного сотрудничества между учеными ИДСТУ СО РАН и КНР
12	Ли Сюе, Li Xue	КНР	Академии общественных наук провинции Цзилинь, начальник службы внешних связей	03.07.2023	
13	Чжоу Вэйпин, Zhou Weiping	КНР	Академия общественных наук провинции Цзилинь КНР, директор института Кореи, главный научный сотрудник	03.07.2023	
14	Го Юнчжи, Guo Yongzhi	КНР	Академия общественных наук провинции Цзилинь КНР, главный редактор журнала «Фронт социальных наук», главный научный сотрудник	03.07.2023	
15	Ян Сюефэн, Yang Xuefeng	КНР	Академия общественных наук провинции Цзилинь КНР, директор Института России, главный научный сотрудник	03.07.2023	
16	Чэнь Шухун, Chen Shuhong	КНР	Академия общественных наук провинции Цзилинь КНР, директор Института социологии, главный научный сотрудник	03.07.2023	
17	Линь Дун, Lin Dong	КНР	Корпорация ЧжунФуТун, вице-президент	18.12.2023	Обсуждение вопросов возможного научного сотрудничества между учеными ИДСТУ СО РАН и КНР
18	Чжан Лида, Zhang Lida	КНР	Корпорация ЧжунФуТун, главный инженер	18.12.2023	
19	Ван Шуго, Wang Shuguo	КНР	Корпорация ЧжунФуТун, советник	18.12.2023	
110	Хуан Шаоцин Huang Shaoqing	КНР	Фучжоу Кака Со.Лтд при Корпорации ЧжунФуТун, генеральный директор	18.12.2023	
111	Ми Гуйсюн Mi Guixiong	КНР	Генеральное консульство КНР в г. Иркутске, консул по вопросам науки и техники	18.12.2023	



4. Проведение международных конференций.

1. V Международный семинар по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (V International Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments, ICCS-DE 2023), 3-7 июля 2023 года, г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН (смешанный формат).

2. 39-я Международная конференция «Ляпуновские чтения», 4-8 декабря 2023 года, г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН (смешанный формат).

5. Членство в международных академиях, работа в международных организациях, полученные награды международных научных организаций.

Членство в международных научных организациях:

- Mathematical Optimization Society (MOS) – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский.
- Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM) – д.ф.-м.н.

А.С. Стрекаловский.

- Mongolian Mathematical Society – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский.
- The International Physics and Control Society (IPACS) – д.ф.-м.н. В.Д. Иртегов.
- International Society of Difference Equations (ISDE) – к.ф.-м.н. А.К. Свинин.
- International Association of Applied Mathematics and Mechanics (GAMM) – д.ф.-

м.н. А.Л. Баландин.

- Association for Computing Machinery (ACM) – к.т.н. Заикин О.С., Кочемазов

С.Е.

- Международная общественная организация «Академия навигации и управления движением» – д.ф.-м.н. А.В. Лакеев.

Д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский – почётный профессор Национального университета Монголии.

Д.т.н. А.Ф. Берман – приглашённый профессор Китайского университета геологических наук (факультет промышленной безопасности и защиты окружающей среды).

Членство в редколлегиях международных научных изданий:

• Discussiones Mathematicae, Differential Inclusions, Control and Optimization – чл.-к. РАН А.А. Толстоногов.

• Journal of Nonlinear Analysis and Differential Equations – чл.-к. РАН А.А. Толстоногов.

- Safety and Environmental Engineering – д.т.н. А.Ф. Берман.
- Computer Communication & Collaboration – к.т.н. А.Ю. Юрин.
- Journal of Optimization Theory and Applications (Springer) – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский.

• Communications in Optimization Theory (Mathematical Research Press, London, UK) – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский.

- Numerical Algebra, Control and Optimization, USA – д.т.н. А.Ю. Горнов.
- Industry 4.0 – ак. РАН И.В. Бычков.
- Chinese Journal of Artificial Intelligence – ак. РАН И.В. Бычков.
- Symmetry-Basel, Switzerland – д.ф.-м.н. А.Л. Казаков.



ПЕРЕЧЕНЬ ПУБЛИКАЦИЙ И ПОЛУЧЕННЫХ ПАТЕНТОВ

Статьи в российских журналах

1. Амирасланов И.В., Дородных Н.О., Юрин А.Ю. Программное средство извлечения сущностей из семантически аннотированных табличных данных // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2023. Т. 2, № 30. С. 138–151. DOI: 10.25729/ESI.2023.30.2.014.
2. Банищikov А.В., Лакеев А.В., Русанов В.А. О полилинейной дифференциальной реализации детерминированного динамического хаоса в классе уравнений высших порядков с запаздыванием // Известия высших учебных заведений. Математика. 2023. № 10. С. 3–21. DOI: 10.26907/0021-3446-2023-10-3-21.
3. Берман А.Ф., Дородных Н.О., Николайчук О.А., Юрин А.Ю. Технология создания основанных на знаниях систем для исследования динамики состояния технических объектов // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28, № 4. С. 94–108. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.4.008.
4. Ботороева М.Н., Булатов М.В. Исследование устойчивости неклассических разностных схем для нелинейных интегральных уравнений Вольтерра II рода // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2023. Т. 63, № 6. С. 881–890. DOI: 10.31857/S0044466923060054.
5. Булатов М.В., Индуцкая Т.С. Численное решение дифференциально-алгебраических уравнений произвольного индекса с производной Римана-Лиувилля // Вестник российских университетов. Математика. 2023. Т. 28, № 141. С. 13–25. DOI: 10.20310/2686-9667-2023-28-141-13-25.
6. Булатов М.В., Соловарова Л.С. Многошаговые методы для дифференциально-алгебраических уравнений второго порядка // Дифференциальные уравнения. 2023. Т. 59, № 3. С. 389–399. DOI: 10.31857/S037406412303010X.
7. Бызов Л.М., Саньков В.А., Кензин М.Ю., Ульянов С.А. Опыт численного моделирования эволюции рельефа приразломных склонов горного обрамления впадин байкальской рифтовой системы // Геоинформатика. 2023. № 3. С. 55–62. DOI: 10.47148/1609-364X-2023-3-55-62.
8. Бычков И.В., Владимиров И.Н., Ружников Г.М., Софронов А.П., Фёдоров Р.К., Попова А.К., Авраменко Ю.В., Кравцов С.Л., Чурило Е.В. Внедрение цифровых технологий в мониторинг лесов Байкальской природной территории // География и природные ресурсы. 2023. Т. 44, № 1. С. 23–30. DOI: 10.15372/GIPR20230103.
9. Бычков И.В., Давыдов А.В., Кензин М.Ю., Нагул Н.В., Толстихин А.А. Интеллектуальное планирование стратегий и управление группой мобильных роботов в условиях неполноты информации // Известия ЮФУ. Технические науки. 2023. № 1(231). С. 170–184. DOI: 10.18522/2311-3103-2023-1-170-184.
10. Бычков И.В., Казаков А.Л., Жарков М.Л. Применение теории массового обслуживания для моделирования Улан-Баторской железной дороги // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28, № 6. С. 17–36. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.6.003.
11. Бычков И.В., Клименко О.А., Рычкова Е.В., Шабальников И.В. Вопросы ресурсов корпоративной информационной системы СО РАН: история и современное состояние // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2023. Т. 2, № 30. С. 129–137. DOI: 10.25729/ESI.2023.30.2.013.
12. Бычков И.В., Маджара Т.И., Новопашин А.П., Фереферов Е.С., Феоктистов А.Г., Федоров Р.К. Информационно-вычислительные ресурсы ИРНОК: инфраструктура, данные,



- приложения // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28, № 3. С. 117–135. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.3.008.
13. Бычков И.В., Попова А.К., Фереферов Е.С., Фёдоров Р.К., Дэмбэрэл С., Ууганбаатар Д. Российско-Монгольское сотрудничество в области цифрового экологического мониторинга Байкальской природной территории и Прихубсугулья // География и природные ресурсы. 2023. № 5S.
14. Бычков И.В., Ружников Г.М., Федоров Р.К., Попова А.К., Авраменко Ю.В. О классификации космических снимков Sentinel-2 нейронной сетью ResNet-50 // Компьютерная оптика. 2023. Т. 47, № 3. С. 474–481. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1216. URL: <https://www.computeroptics.ru/KO/PDF/KO47-3/470316.pdf>.
15. Бычков И.В., Федоров Р.К., Фереферов Е.С. Инструментальные компоненты цифровой платформы экологического мониторинга Байкальской природной территории // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28, № 6. С. 95–107. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.6.009.
16. Бычков И.В., Феоктистов А.Г., Чекан М.А. Модель поведения агента микросети // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28, № 6. С. 108–117. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.6.010.
17. Гаврилов Д.А., Горнов А.Ю., Татарина Е.А., Буздин В.Э., Поткин О.А. Обзор современных методов и технологий для динамической системы с запаздыванием // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2023. № 2. С. 44–51. DOI: 10.25791/pribor.2.2023.1389.
18. Гаврилов Д.А., Татарина Е.А., Леус А.В., Буздин В.Э., Меркелов А.А., Горнов А.Ю., Мурхиж Я., Поткин О.А. Обзор методов прямой численной оптимизации для интеллектуальных систем управления беспилотными робототехническими устройствами // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2023. № 5. С. 24–40. DOI: 10.25791/pribor.5.2023.1409.
19. Данеев А.В., Данеев Р.А., Лакеев А.В., Русанов В.А., Аксёнов Ю.Д. О реализации принципа суперпозиции для конечного пучка интегральных кривых билинейной системы второго порядка // Известия Самарского научного центра РАН. 2023. Т. 25, № 5. С. 125–134. DOI: <https://doi.org/10.37313/1990-5378-2023-25-6-125-134>.
20. Дыхта В.А. Методы повышения эффективности позиционного принципа минимума в задачах оптимального управления // Итоги науки и техники. Сер. Современная математика и ее приложения. Тематические обзоры. 2023. Т. 224. С. 54–64. DOI: 10.36535/0233-6723-2023-224-54-64.
21. Дьякович М.П., Финогенко И.А. Динамические суждения о связанном со здоровьем качестве жизни на основе метода анализа иерархий // Вестник российских университетов. Математика. 2023. Т. 28, № 143. С. 245–255. DOI: 10.20310/2686-9667-2023-28-143-245-255.
22. Еделев А.В., Береснева Н.М., Костромин Р.О. Методика выбора алгоритмов оптимизации живучести энергетических инфраструктур // Системы анализа и обработки данных. 2023. № 4(92). С. 97–129. DOI: 10.17212/2782-2001-2023-4-97-129.
23. Еделев А.В., Карамов Д.Н., Башарина О.Ю. Методика оценки живучести автономной микросети // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2023. № 4(32). С. 117–126. DOI: 10.25729/ESI.2023.32.4.010.
24. Еделев А.В., Карамов Д.Н., Башарина О.Ю. Моделирование автономной микросети // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2023. № 3(31). С. 74–85. DOI: 10.25729/ESI.2023.31.3.007. URL: https://www.imt-journal.ru/archive/public/downloadFromArticle?article_id=326&file_id=435.
25. Жарков М.Л., Казаков А.Л., Супруновский А.В. Оценка пропускной способности однопутного участка БАМа с использованием теории массового обслуживания // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2023. Т. 82, № 4. С.



- 285-296. DOI: 10.21780/2223-9731-2023-82-4-285-296. URL: <https://www.journal-vniizht.ru/jour/article/view/745/447>.
26. Заикин О.С. Обращение 29-шаговой функции сжатия MD5 при помощи алгоритмов решения проблемы булевой выполнимости // Прикладная дискретная математика. Приложение. 2023. С. 36–40. DOI: 10.17223/2226308X/16/10.
27. Иртегов В.Д., Титоренко Т.Н. О качественном анализе семейства дифференциальных уравнений с первыми интегралами выше 2-й степени // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Математическое моделирование и программирование. 2023. Т. 16, № 2. С. 37–48. DOI: 10.14529/mmp230204. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_54321312_29533364.pdf.
28. Казаков А.Л., Кузнецов П.А., Спевак Л.Ф. Задача об иницировании диффузионной волны для нелинейной параболической системы второго порядка // Труды института математики и механики УрО РАН. 2023. Т. 29, № 2. С. 67–86. DOI: 10.21538/0134-4889-2023-29-2-67-86.
29. Казаков А.Л., Кузнецов П.А., Спевак Л.Ф. О некоторых решениях с нулевым фронтом эволюционной параболической системы // Итоги науки и техники. Сер. Современная математика и ее приложения. Тематические обзоры. 2023. Т. 224, № 2. С. 80–88. DOI: 10.36535/0233-6723-2023-224-80-88.
30. Казаков А.Л., Спевак Л.Ф. Задача об иницировании диффузионной волны для нелинейной параболической системы в случаях сферической и цилиндрической симметрии // Прикладная механика и техническая физика. 2023 DOI: 10.15372/PMTF202315414.
31. Казаков А.Л., Упырь Р.Ю., Доможирова А.Д. Нейросетевой подход к изучению функционирования системы курсирования кольцевых маршрутных поездов // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2023. Т. 82, № 2. С. 158–167. DOI: 10.21780/2223-9731-2023-82-2-158-167.
32. Кивокурцев А.Л., Соколов О.А., Юрин А.Ю. Опыт технической эксплуатации совмещенной инерциально-воздушной системы ADIRS самолета А-320 // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2023. № 1. С. 134–154. DOI: 10.51955/2312-1327_2023_1_134.
33. Копылов Д.Е., Михайлов А.А. Классификация текста растрового документа по признаку начертания // Труды Института системного программирования РАН. 2023
34. Косов А.А. Об устойчивости стационарных решений уравнений движения гиростата Горячева–Сретенского // Известия академии наук СССР. Механика твердого тела. 2023. № 6. С. 69–82. DOI: 10.31857/S0572329922600657.
35. Косов А.А., Семенов Э.И. Об одном нелинейном обыкновенном дифференциальном уравнении второго порядка // Дифференциальные уравнения. 2023. Т. 59, № 1. С. 138–141. DOI: 10.31857/S0374064123010120.
36. Косов А.А., Семенов Э.И. Об интегрируемости и устойчивости стационарных решений гиростата Горячева–Сретенского // Сибирский журнал индустриальной математики. 2023. Т. 26, № 3. С. 56–72. DOI: 10.33048/SIBJIM.2023.26.305.
37. Косов А.А., Семенов Э.И. О точных решениях многомерной системы эллиптических уравнений со степенными нелинейностями // Дифференциальные уравнения. 2023. Т. 59, № 12. С. 1619–1640. DOI: 10.31857/S037406412312004X.
38. Косов А.А., Семенов Э.И., Тирских В.В. О многомерных точных решениях одной нелинейной системы реакции-диффузии // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. 2023. Т. 33, № 2. С. 225–239. DOI: 10.35634/vm230203.



39. Костромин Р.О. Особенности реализации системы мониторинга гетерогенной вычислительной среды // Современные наукоемкие технологии. 2023. Т. 12, № 2. С. 264–269. DOI: 10.17513/snt.39892. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=39892>.
40. Кравцов С.Л., Попова А.К., Маркова Д.С., Лепесевич Е.В., Решетник С.В. Совершенствование информационных систем о природных пожарах республики Беларусь и Российской Федерации // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2023. Т. 7, № 1. С. 86–110. DOI: 10.33408/2519-237X.2023.7-1.86.
41. Лакеев А.В., Линке Ю.Э., Русанов В.А. Оператор Релея–Ритца в обратных задачах полилинейных неавтономных эволюционных уравнений высших порядков // Математические труды. 2023. Т. 26, № 2. С. 162–176. DOI: 10.33048/mattrudy.2023.26.208. URL: <http://old.math.nsc.ru/mattrudy/archive/files/AT262/AT262A8.pdf>.
42. Марков Ю.А., Маркова М.А., Марков Н.Ю. Гамильтонов формализм для коллективных бозонных волн в кварк-глюонной плазме: рассеяние плазмонов на жесткой цветной частице // Известия высших учебных заведений. Физика. 2023. Т. 66, № 12. С. 151–165. DOI: 10.17223/00213411/66/12/18.
43. Маро Е.А., Заикин О.С. Алгебраический криптоанализ 9 раундов низкоресурсного блочного шифра Simon 32/64 // Прикладная дискретная математика. Приложение. 2023. № 16. С. 65–70. DOI: 10.17223/2226308X/16/17.
44. Нефедова О. А., Спевак Л. Ф., Казаков А. Л., Ли М.-Г. Применение метода нулевого поля для решения двумерного нелинейного уравнения теплопроводности // Компьютерные исследования и моделирование. 2023. Т. 15, № 6. С. 1449–1467. DOI: 10.20537/2076-7633-2023-15-6-1449-1467.
45. Николайчук О.А., Пестова Ю.В., Косогоров Д.Е., Павлов А.И. Концепция сервиса мониторинга сферы туризма территории на основе анализа веб-ресурсов // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28, № 6. С. 118–134. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.6.011.
46. Новиков М.А. Об устойчивости стационарных движений механических систем с частным интегралом Горячева–Чаплыгина // Известия РАН. Механика твердого тела. 2023. № 3. С. 177–180. DOI: 10.31857/S0572329923700022.
47. Новиков М.А. Об условиях для существования частных интегралов Стеклова–Бобылева // Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика. 2023. № 3. С. 62–69. DOI: 10.18101/2304-5728-2023-3-62-69.
48. Опарин Г.А., Богданова В.Г., Пашинин А.А. Применение метода булевых ограничений для качественного анализа динамических свойств сингулярных булевых сетей // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28, № 1. С. 48–60. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.1.006.
49. Орлов А.В. Численное исследование гибридного алгоритма глобального поиска в гексаматричных играх // Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика. 2023. № 2. С. 14–29. DOI: 10.18101/2304-5728-2023-2-14-29.
50. Попова А.К. Подготовка начальных данных для моделей лесных ресурсов на основе данных дистанционного зондирования Земли // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28, № 6. С. 135–150. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.6.012.
51. Салимов Б.Г., Бернгардт О.И., Хмельнов А.Е., Ратовский К.Г., Кусонский О.А. Применение сверточных нейронных сетей для прогнозирования критической частоты FOF2 // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 1. С. 60–72. DOI: 10.12737/szf-91202307.
52. Свирина С.В. Об устойчивости локально-одномерной разностной схемы для линейной дифференциально-алгебраической системы первого порядка индекса (1,0) // Известия высших учебных заведений. Математика. 2023. № 4. С. 37–50. DOI: 10.26907/0021-3446-2023-4-37-50.



53. Семёнов А.А. Оценки трудности доказательств и криптографических атак, основанных на лазейках // Прикладная дискретная математика. Приложение. 2023. № 16. С. 87–95. DOI: 10.17223/2226308X/16/23.
54. Старицын М. В., Погодаев Н. И., Гончарова Е. В. Принцип максимума Понтрягина и непрямой алгоритм спуска в задаче оптимального импульсного управления нелокальным уравнением переноса // Известия Иркутского Государственного Университета. Сер. Математика. 2023. Т. 46. С. 66–84. DOI: 10.26516/1997-7670.2023.46.66.
55. Стрекаловский А.С. Минимизирующие последовательности в задаче DC оптимизации с ограничениями // Труды Института математики и механики УрО РАН. 2023. Т. 29, № 3. С. 185–209. DOI: 10.21538/0134-4889-2023-29-3-185-209.
56. Толстоногов А.А. Существование и релаксация решений дифференциальных включений с максимально монотонными операторами и возмущениями // Доклады Российской академии наук. Математика, информатика, процессы управления. 2023. Т. 514. С. 65–68. DOI: 10.31857/S268695432360012X.
57. Толстоногов А.А. Теоремы сравнения для эволюционных включений с максимально монотонными операторами. L2-теория // Математический сборник. 2023. Т. 214, № 6. С. 110–135. DOI: 10.4213/sm9736.
58. Толстоногов А.А. Расстояние между максимально монотонными операторами // Сибирский математический журнал. 2023. Т. 64, № 4. С. 815–829.
59. Тятюшкин А.И. Оптимизация управления и параметров в системах с фазовыми ограничениями // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2023. Т. 63, № 6. С. 950–961. DOI: 10.31857/S0044466923060194.
60. Тятюшкин А.И., Зароднюк Т.С. Оптимизация управления в системах с фазовыми ограничениями // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28, № 5. С. 55–69. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.5.006.
61. Феоктистов А.Г., Костромин Р.О., Воскобойников М.Л., Ли-Дэ Д.И. Организация вычислительной среды разработки и применения научных рабочих процессов на основе контейнеризации // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28, № 6. С. 151–164. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.6.013.
62. Хмельнов А.Е., Гаченко А.С. Алгоритмы уточнения модели прибрежного рельефа по данным воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28, № 6. С. 57–67. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.6.006.
63. Черкашин Е.А. Технологии семантического веба в разработке и интеграции приложений // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28, № 1. С. 81–91. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.1.009.
64. Чистяков В.Ф. Об особых точках линейных дифференциально-алгебраических уравнений с возмущениями в виде интегральных операторов // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2023. Т. 63, № 6. С. 962–978. DOI: 10.31857/S0044466923060066.
65. Чистяков В.Ф., Чистякова Е.В. Свойства вырожденных систем линейных интегро-дифференциальных уравнений и начальных задач для них // Дифференциальные уравнения. 2023. Т. 59, № 1. С. 15–29. DOI: 10.31857/S037406412301003X.
66. Щеглова А.А. Робастная устойчивость дифференциально-алгебраических уравнений с параметрической неопределенностью // Автоматика и телемеханика. 2023. Т. 11. С. 17–35. DOI: 10.31857/S0005231023110028.
67. Щеглова А.А. К вопросу существования решений вырожденных систем с дискретным временем // Дифференциальные уравнения. 2023. Т. 59, № 5. С. 675–692. DOI: 10.31857/S0374064123050114.



68. Щеглова А.А. Импульсная переходная матрица нестационарной системы дифференциально-алгебраических уравнений // Известия РАН. Теория и системы управления. 2023. № 1. С. 3–17. DOI: 10.31857/S0002338823010092.

Статьи в зарубежных и переводных журналах

69. Balandin A.L. Fourier Diffraction Theorem for the Tensor Fields // Applications of Mathematics. 2023. Vol. 68, № 5. P. 559–570. DOI: 10.21136/AM.2023.0098-22.
70. Balandin A.L. Inverse scattering problem for the tensor fields in a coordinate-free representation // Asian-European Journal of Mathematics. 2023. Vol. 16, № 12. P. 2350229. DOI: 10.1142/S1793557123502297.
71. Bانشchikov A.V., Lakeev A.V., Rusanov V.A. Polylinear differential realization of the determined dynamic chaos in the class of higher order equations with delay // Russian Mathematics. 2023. Vol. 67, № 10. P. 39–53. DOI: 10.3103/S1066369X2310002X.
72. Belykh A., Gruzdeva T., Ushakov A., Vasilyev I. Efficient Heuristics for a Partial Set Covering Problem with Mutually Exclusive Pairs of Facilities // Springer Proceedings in Mathematics & Statistics: International Conference on Optimization, Simulation and Control (Ulaanbaatar, Mongolia, 20–22 June). 2023. Vol. 434. P. 45–63. DOI: 10.1007/978-3-031-41229-5_4.
73. Berman A.F., Dorodnykh N.O., Nikolaychuk O.A., Yurin A.Y. Technology for creating knowledge-based systems for studying the dynamics of the state of technical objects // Computational Technologies. 2023. Vol. 28, № 4. P. 94–108.
74. Berman A.F., Nikolaychuk O.A. An analogy of the sensitivity for initial conditions of natural and technical objects to ensure the properties of materials // AIP Conf. Proc.: Proc. of the Intern. Conf. Physical Mesomechanics of Condensed Matter: Physical Principles of Multiscale Structure Formation and the Mechanisms of Nonlinear Behavior (MESO 2022). 2023. Vol. 2899, № 1 DOI: 10.1063/5.0162826.
75. Bin C., Liang X.Y., Minchev E., Timoshin S. Optimization of a Prey–Predator Model with Hysteresis and Convection // Journal of Optimization Theory and Applications. 2023. Vol. 198, № 1. P. 347–371. DOI: 10.1007/s10957-023-02225-0.
76. Botoroeva M.N., Bulatov M.V. Stability Analysis of Nonclassical Difference Schemes for Nonlinear Volterra Integral Equations of the Second Kind // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2023. Vol. 63, № 6. P. 919–928. DOI: 10.1134/S0965542523060052. URL: <https://link.springer.com/article/10.1134/S0965542523060052>.
77. Bulatov M.V. On an Algorithm for the Numerical Solution of Integral-Algebraic Equations // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2023. Vol. 44. P. 542–547. DOI: 10.1134/S1995080223020129.
78. Bulatov M.V., Indutskaya T.S. Numerical solution of differential-algebraic equations of arbitrary index with Riemann-Liouville derivative // Russian Universities Reports. Mathematics. 2023. Vol. 28, № 141. P. 13–25. DOI: 10.20310/2686-9667-2023-28-141-13-25. URL: <https://doi.org/10.20310/2686-9667-2023-28-141-13-25>.
79. Bulatov M.V., Solovarova L.S. Multistep Methods for Second-Order Differential-Algebraic Equations // Differential Equations. 2023. Vol. 59, № 3. P. 392–403. DOI: 10.1134/S0012266123030102. URL: <https://link.springer.com/article/10.1134/S0012266123030102>.
80. Bychkov I., Popova A. Forest Landscape Model Initialization with Remotely Sensed-Based Open-Source Databases in the Absence of Inventory Data // Forests. 2023. Vol. 14, № 10 DOI: 10.3390/f14101995.



81. Bychkov I.V., Fedorov R.K., Fereferov E.S. Instrumental components of the digital platform for environmental monitoring of the Baikal natural territory // Computational Technologies. 2023. Vol. 28, № 6. P. 95–107. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.6.009.
82. Bychkov I.V., Feoktistov A.G., Chekan M.A. Model of microgrid agent behavior // Computational Technologies. 2023. Vol. 28, № 6. P. 108–107. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.6.010.
83. Bychkov I.V., Madzhara T.I., Novopashin A.P., Fereferov E.S., Feoktistov A.G., Fedorov R.K. Information and computing resources of IREC: infrastructure, data, applications // Computational technologies. 2023. Vol. 28, № 3. P. 117–135. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.3.008.
84. Bychkov I.V., Popova A.K., Fereferov E.S., Fedorov R.K., Demberel S., Uuganbaatar S. Russian–Mongolian Cooperation in the Field of Digital Ecological Monitoring of the Baikal Natural Territory and Khuvsgul region // Geography and Natural Resources. 2023. Vol. 44. P. S1–S8. DOI: 10.1134/S1875372823050049. URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1134/S1875372823050049.pdf>.
85. Bychkov I.V., Ruzhnikov G.M., Fedorov R.K., Popova A.K., Avramenko Y.V. On classification of Sentinel-2 satellite images by a neural network ResNet-50 // Computer Optics. 2023. Vol. 47, № 3. P. 474–481. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1216.
86. Bychkov I.V., Vladimirov I.N., Ruzhnikov G.M., Sofronov A.P., Fedorov R.K., Popova A.K., Avramenko Yu.V., Kravtsov S.L., Churilo E. V. Introducing Digital Technologies to Forest Monitoring in the Baikal Natural Territory // Geography and Natural Resources. 2023. Vol. 44. P. 16–22. DOI: 10.1134/S1875372823010018.
87. Bychkov I.V., Zharkov M.L., Kazakov A.L. Application of queuing theory for modelling of the Ulaanbaatar Railway // Computational Technologies. 2023. Vol. 28, № 6. P. 46–56. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.6.003.
88. Cherkashin E.A. Technologies of semantic web as an environment of application development and integration // Journal of Computational Technologies. 2023. Vol. 28, № 1. P. 81–91. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.1.009.
89. Chistyakov V.F. On Singular Points of Linear Differential-Algebraic Equations with Perturbations in the Form of Integral Operators // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2023. Vol. 63, № 6. P. 1028–1044. DOI: 10.1134/S0965542523060064. URL: <https://link.springer.com/article/10.1134/S0965542523060064>.
90. Chistyakov V.F., Chistyakova E.V. On existence and classification of singular points for higher order differential algebraic equations // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2023. Vol. 44, № 3. P. 1125–1133. DOI: 10.1134/S1995080223030095.
91. Chistyakov V.F., Chistyakova E.V. Properties of Degenerate Systems of Linear Integro-Differential Equations and Initial Value Problems for These Equations // Differential Equations. 2023. Vol. 59. P. 13–28. DOI: 10.1134/S0012266123010023.
92. Dorodnykh N., Yurin A. Knowledge Graph Engineering Based on Semantic Annotation of Tables // Computation. 2023. Vol. 11, № 9. P. 274–281. DOI: 10.3390/computation11090175.
93. Dorodnykh N.O., Nikolaychuk O.A., Pestova J.V., Yurin A. Yu. Creation of Prototypes of Case-Based Knowledge Bases Using Transformations of Decision Tables to Predict the Risk of Forest Fires // Pattern Recognition and Image Analysis. 2023. Vol. 33, № 3. P. 274–281. DOI: 10.1134/S1054661823030094.
94. Dorodnykh N.O., Yurin A.Y. Using Semantic Annotation of Tabular Data for Domain Knowledge Graph Population // Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. Vol. 777. P. 206–216. DOI: 10.1007/978-3-031-43792-2_20.
95. Dudakova A.V., Goncharova N.Y., Kazakov A.L., Bolshakov R.S. The modeling of technological processes of a railway marshalling yard using any logic // AIP Conf. Proc.: intern. scientific and practical conf. «Railway Transport And Technologies». 2023. Vol. 2624, № 1 DOI: 10.1063/5.0132718.



96. Efimova N., Paramonov V., Rukavishnikov V., Fedorov R., Ruzhnikov G., Tsyrendorzhiev A. Assessment of health risk of the baikal region population associated with the wildfire air pollution: Approaches, modelling, digital environment // *Emerging Contaminants*. 2023. Vol. 9, № 1 DOI: 10.1016/j.emcon.2022.100201.
97. Enkhbat R., Sorokovikov P., Zarodnyuk T., Gornov A. The Globalized Modification of Rosenbrock Algorithm for Finding Anti-Nash Equilibrium in Bimatrix Game // *Springer Proceedings in Mathematics & Statistics: Intern. Conf. on Optimization, Simulation and Control (Ulaanbaatar, Mongolia, 20–22 June)*. 2023. Vol. 434. P. 153–164. DOI: 10.1007/978-3-031-41229-5_12.
98. Feoktistov A., Edelev A., Tchernykh F., Gorsky S., Basharina O., Fereferov E. An Approach to Implementing High-Performance Computing for Problem Solving in Workflow-based Energy Infrastructure Resilience Studies // *Computation*. 2023. Vol. 11, № 12. P. 243. DOI: 10.3390/computation11120243. URL: <https://www.mdpi.com/2079-3197/11/12/243>.
99. Feoktistov A., Edelev A., Tchernykh F., Gorsky S., Basharina O., Fereferov E. An Approach to Implementing High-Performance Computing for Problem Solving in Workflow-based Energy Infrastructure Resilience Studies // *Preprints*. 2023. P. 2023110065. DOI: 10.20944/preprints202311.0065.v1.
100. Feoktistov A.G., Kostromin R.O., Voskoboinikov M.L., Li-De D.I. Implementation of computing environment for developing and applying scientific workflows based on containerization // *Computational Technologies*. 2023. Vol. 28, № 6. P. 151–164. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.6.013.
101. Hmelnov A.E., Gachenko A.S. Algorithms for Refining a Coastal Terrain Model from the Airborne Laser Scanning and Aerophotogrammetric Survey Data // *Computational Technologies*. 2023. Vol. 28, № 6. P. 57–67. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.6.006.
102. Irtegov V.D., Titorenko T.N. On the Qualitative Analysis of a Family of Differential Equations with First Integrals of Degree More then 2 // *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mathematical Modelling, Programming and Computer Software*. 2023. Vol. 16, № 2. P. 37–48. DOI: 10.14529/mmp230204.
103. Kazakov A., Lempert A., Zharkov M. An approach to railway network sections modeling based on queuing networks // *Journal of Rail Transport Planning & Management*. 2023. Vol. 27 DOI: 10.1016/j.jrtpm.2023.100404.
104. Kazakov A.L., Kuznetsov P.A., Spevak L.F. The Problem of Diffusion Wave Initiation for a Nonlinear Second-Order Parabolic System // *Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics*. 2023. Vol. 321, № 1. P. S109–S126. DOI: 10.1134/S0081543823030112.
105. Kazakov A.L., Kuznetsov P.A., Spevak L.F. The problem of diffusion wave initiation for a nonlinear second-order parabolic system // *Trudy Instituta Matematiki i Mekhaniki UrO RAN*. 2023. Vol. 29, № 2. P. 67–86. DOI: 10.21538/0134-4889-2023-29-2-67-86.
106. Kazakov A.L., Lempert A.A., Zharkov M.L. On Modeling a Section of a Single-Track Railway Network Based on Queuing Networks // *Communications in Computer and Information Science*. 2023. Vol. 1803. P. 40–54. DOI: 10.1007/978-3-031-32990-6_4.
107. Kivokurtsev A.L., Sokolov O.A., Yurin A.Yu. The experience of technical operation of air data inertial reference system of A-320 aircraft // *Crede Experto: transport, society, education, language*. 2023. Vol. 1, № 36 DOI: 10.51955/2312-1327_2023_1_134.
108. Kazakov A.L., Spevak L.F. On a solution to a nonlinear heat transfer model by the BEM // *AIP Conf. Proc.: intern. scientific and practical conf. «Railway Transport And Technologies»*. 2023. Vol. 2624 DOI: 10.1063/5.0132777.
109. Kondratiev V., Kochemazov S., Semenov A. Using Parallel SAT Solving to Study Hard Combinatorial Problems Associated with Boolean Circuits // *Communications in Computer and Information Science*. 2023. Vol. 1868. P. 123–136. DOI: 10.1007/978-3-031-38864-4_9.



110. *Kosov A.A.* On the Stability of Stationary Solutions of the Equations of Motion of the Goryachev–Sretensky Gyrostat // *Mechanics of Solids*. 2023. № 6. P. 69–82. DOI: 10.3103/S0025654423600460.
111. *Kosov A.A., Semenov E.I.* On exact solutions of a multidimensional system of elliptic equations with power-law nonlinearities // *Differential Equations*. 2023. Vol. 59, № 12. P. 1619–1640. DOI: 10.31857/S037406412312004X.
112. *Kosov A.A., Semenov E.I.* On the Integrability and Stability of Stationary Solutions of the Goryachev–Sretensky Gyrostat // *Journal of Applied and Industrial Mathematics*. 2023. Vol. 17, № 3. P. 557–570. DOI: 10.1134/S1990478923030092.
113. *Kosov A.A., Semenov E.I.* On a Nonlinear Second-Order Ordinary Differential Equation // *Differential Equations*. 2023. Vol. 59, № 1. P. 143–146. DOI: 10.1134/s0012266123010111.
114. *Kosov A.A., Semenov E.I., Tirskikh V.V.* On multidimensional exact solutions of a nonlinear reaction–diffusion system // *Vestnik Udmurtskogo Universiteta. Matematika. Mekhanika. Komp'yuternye Nauki*. 2023. Vol. 33, № 2. P. 225–239. DOI: 10.35634/vm230203. URL: <https://www.mathnet.ru/links/ffd88da465695d0d1a53f9cf77cd060c/vuu846.pdf>.
115. *Lakeyev A.V., Linke Yu.E., Rusanov V. A.* Rayleigh–Ritz Operator in Inverse Problems for Higher Order Multilinear Nonautonomous Evolution Equations // *Siberian Advances in Mathematics*. 2023. Vol. 33, № 4. P. 261–269. DOI: 10.1134/S1055134423040016.
116. *Lakeyev A.V., Rusanov V.A., Daneev A.V., Aksenov Yu. D.* On realization of the superposition principle for a finite bundle of integral curves of a second-order bilinear differential system // *Advances in Differential Equations and Control Processes*. 2023. Vol. 30, № 2. P. 169–197. DOI: 10.17654/0974324323011.
117. *Lyubovitskij V.E., Zhevlakov A.S., Kachanovich A., Kuleshov S.* Dark SU (2) Stueckelberg portal // *Physical Review D*. 2023. Vol. 107, № 5 DOI: 10.1103/PhysRevD.107.055006.
118. *Markov Yu.A., Markova M.A., Markov N.Yu.* Hamiltonian formalism for Bose excitations in a plasma with a non-Abelian interaction I: plasmon – hard particle scattering // e-print ArXiv of Cornell University Library. 2023 DOI: 10.48550/arXiv.2307.15390.
119. *Markov Yu.A., Markova M.A., Markov N.Yu.* Hamiltonian formalism for Fermi excitations in a plasma with a non-Abelian interaction // *Intern. Journal of Modern Physics A*. 2023. Vol. 38, № 2. P. 2350015. DOI: 10.1142/S0217751X2350015X.
120. *Nikolaichuk O.A., Pestova Yu.V., Pavlov A.I., Kosogorov D.E.* A concept of the tourism industry monitoring service based on the analysis of web resources // *Computational Technologies*. 2023. Vol. 28, № 6. P. 118–134. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.6.011.
121. *Nikolaychuk O.A., Pestova Yu.V., Kosogorov D.E., Pavlov A.I.* Tourism Industry Monitoring Service Based on Analysis of Informational Web Resources // *Preprints*. 2023. Vol. 2023, № 8 DOI: 10.20944/preprints202308.0517.v1.
122. *Novikov M.A.* Stability of Stationary Motions of Mechanical Systems with a Particular Goryachev–Chaplygin Integral // *Mechanics of Solids*. 2023. Vol. 58. P. 814–817. DOI: 10.3103/S0025654423700139. URL: <https://link.springer.com/article/10.3103/s0025654423700139>.
123. *Novikov M.A., Martynenko L.V.* Building a mathematical model for assessing the hazard of emergency situations and the formation of types of causes for rolling stock derailments // *Intern. Scientific Conf. on Biotechnology and Food Technology (BFT-2023)*. 2023. Vol. 460 DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346006005>.
124. *Oparin G.A., Bogdanova V.G., Pashinin A.A.* The Boolean constraint method application for qualitative analysis of the dynamical properties of singular Boolean networks // *Journal of Computational Technologies*. 2023. Vol. 28, № 1. P. 48–60. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.1.006.



125. *Pasechnyuk D., Gornov A.* A randomised non-descent method for global optimisation // Communications in Computer and Information Science: XIV Intern. Conf. "Optimization and Applications" (OPTIMA-2023). 2023. P. 3–14. DOI: 10.1007/978-3-031-48751-4_1.
126. *Popova A.K.* Preparation of initial data for forest resource models based on remote sensing data // Computational Technologies. 2023. Vol. 28, № 6. P. 135–150. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.6.012.
127. *Radzhabov A.E., Zhevlakov A.S., Martynenko A.P., Martynenko F.A.* Light-by-light contribution to the muon anomalous magnetic moment from the axial-vector mesons exchanges within the nonlocal quark model // Physical Review D. 2023. Vol. 108, № 1 DOI: 10.1103/PhysRevD.108.014033.
128. *Rusanov V.A., Lakeyev A.V., Banshchikov A.V., Daneev A.V.* On the Bilinear Second Order Differential Realization of an Infinite-Dimensional Dynamical System: An Approach Based on Extensions to M2-Operators // Fractal and Fractional. 2023. Vol. 7, № 4 DOI: 10.3390/fractalfract7040310.
129. *Salimov B.G., Berngardt O.I., Khmel'nov A.E., Ratovsky K.G., Kusonsky O.A.* Application of convolution neural networks for critical frequency FOF2 prediction // Solar-Terrestrial Physics. 2023. Vol. 9, № 1. P. 56–67. DOI: 10.12737/stp-91202307.
130. *Solodusha S.V.* On a System of Linear Volterra Integral Equations with Variable Integration Limits // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2023. Vol. 44, № 3. P. 1229–1235. DOI: 10.1134/S1995080223030320.
131. *Solodusha S.V., Kokonova Y.U., Dudareva O.* Integral models in the form of volterra polynomials and continued fractions in the problem of identifying input signals // Mathematics. 2023. Vol. 11, № 23. P. 4724. DOI: 10.3390/math11234724.
132. *Shamirzaev T.S., Atuchin V.V., Zhilitskiy V.E., Gornov A.Yu.* Dynamics of Vacancy Formation and Distribution in Semiconductor Heterostructures: Effect of Thermally Generated Intrinsic Electrons // Nanomaterials. 2023. Vol. 13, № 2 DOI: 10.3390/nano13020308.
133. *Shcheglova A.A.* On the Existence of Solutions of Degenerate Discrete-Time Systems // Differential Equations. 2023. Vol. 59. P. 688–706. DOI: 10.1134/S0012266123050117.
134. *Shcheglova A.A.* Impulse Transfer Matrix of a Time-Varying System of Differential-Algebraic Equations // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2023. Vol. 62, № 1. P. 1–16. DOI: 10.1134/S1064230723010094.
135. *Strekalovsky A.S.* Minimizing sequences in a constrained DC optimization problem // Trudy Instituta Matematiki i Mekhaniki UrO RAN. 2023. Vol. 29, № 3. P. 185–209. DOI: 10.21538/0134-4889-2023-29-3-185-209.
136. *Svinina S.V.* On the stability of a locally one-dimensional difference scheme for a first-order linear differential-algebraic system of index (1,0) // Russian Mathematics. 2023. Vol. 67. P. 31–43. DOI: 10.3103/S1066369X23040059.
137. *Timoshin S.* Bang-bang control of a prey-predator model with a stable food stock and hysteresis // Applied Mathematics and Optimization. 2023. Vol. 88, № 1 DOI: 10.1007/s00245-023-09984-2.
138. *Tolstikhin A.* Bioinspired multipurpose approach to the sampling problem+ // Computation. 2023. Vol. 12, № 11 DOI: 10.3390/computation11120254. URL: <https://doi.org/10.3390/computation11120254>.
139. *Tolstonogov A.A.* Comparison theorems for evolution inclusions with maximal monotone operators. L2-theory // Matematicheskii Sbornik. 2023. Vol. 214, № 6. P. 110–135. DOI: 10.4213/sm9736.
140. *Tolstonogov A.A.* Distances between Maximal Monotone Operators // Siberian Mathematical Journal. 2023. Vol. 64, № 4. P. 914–926. DOI: 10.1134/S0037446623040134. URL: <https://link.springer.com/article/10.1134/s0037446623040134>.



141. Tolstonogov A.A. Upper semicontinuous convex-valued selectors of a Nemytskii operator with nonconvex values and evolution inclusions with maximal monotone operators // Journal of Mathematical Analysis and Applications. 2023. Vol. 526, № 1 DOI: 10.1016/j.jmaa.2023.127197. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jmaa.2023.127197>.
142. Tyatyushkin A.I. Optimization of Control and Parameters in Systems with Phase Constraints // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2023. Vol. 63, № 6. P. 1016–1027. DOI: 10.1134/S0965542523060179.
143. Tyatyushkin A.I., Zarodnyuk T.S. Optimization of control in systems with phase constraints // Computational technologies. 2023. Vol. 28, № 5. P. 55–69. DOI: 10.25743/ICT.2023.28.5.006.
144. Vasilyev I., Ushakov A.V., Zhang D., Ren J. Generalized multiple strip packing problem: Formulations, applications, and solution algorithms // Computers and Industrial Engineering. 2023. Vol. 178 DOI: 10.1016/j.cie.2023.109096.
145. Vatutin E., Zaikin O. Classification of Cells Mapping Schemes Related to Orthogonal Diagonal Latin Squares of Small Order // Lecture Notes in Computer Science: 9th Russian Supercomputing Days (RuSCDays 2023), Moscow, Russia, September 25–26, 2023. 2023. Vol. 14389. P. 21–34. DOI: 10.1007/978-3-031-49435-2_2.
146. Vu D. T., Phung T. B., Lempert A. A., Nguyen D. M. On the problem of the densest packing of spherical segments into a sphere // Management and Administrative Professional Review. 2023. Vol. 14(11). P. 19307–19323. DOI: 10.7769/gesec.v14i11.3021.
147. Yurin A., Kotlov Y., Popov V., Mishin S. Towards an Intelligent Decision Support System for Aircraft Troubleshooting // Lecture Notes in Mechanical Engineering: 10th Intern. Scientific and Practical Conf. on Current Problems and Prospects for Development of Civil Aviation 2021 (Irkutsk, 14–15 October 2021). 2023. P. 77–91. DOI: 10.1007/978-981-19-3788-0_7.
148. Yurin A.Yu., Dorodnykh N.O., Nikolaychuk O.A., Stolbov A.B., Denisova D. Using an Intelligent Assistant for Aircraft Diagnostics and Maintenance // Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. Vol. 776. P. 325–333. DOI: 10.1007/978-3-031-43789-2_30.
149. Zarodnyuk T., Gornov A. Monowave Boundary Construction Method for the Non-convex Reachable Set of the Controlled Dynamical System // Springer Proc. in Mathematics & Statistics: Intern. Conf. on Optimization, Simulation and Control (Ulaanbaatar, Mongolia, June 20–22). 2023. Vol. 434. P. 117–127. DOI: 10.1007/978-3-031-41229-5_9.
150. Zhevlakov A.S., Kirpichnikov D.V., Gninenko S.N., Kuleshov S., Lyubovitskij V.E. Probing invisible vector meson decay mode with hadronic beam in the NA64 experiment at SPS/CERN // Physical Review D. 2023. Vol. 108 DOI: 10.1103/PhysRevD.108.115005.

Статьи в сборниках трудов конференций

151. Davydov A., Larionov A., Nagul N. Logic programming approach to observability testing // Матер. V Междунар. семинара по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (ICCS-DE 2023). 2023. P. 50–57.
152. Davydov I., Vasilyev I., Ushakov A.V. Tabu search metaheuristic for the penalty minimization personnel task scheduling problem // Communications in Computer and Information Science: XXII Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2023). 2023. Vol. 1881. P. 109–121. DOI: 10.1007/978-3-031-43257-6_9.
153. Dorodnykh N.O., Nikolaychuk O.A., Stolbov A.B., Yurin A.Y. Towards knowledge-based virtual assistant development with the aid of ontology transformations // IEEE Intern. Multi-Conf. on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON, Yekaterinburg, Russian Federation, 2022). 2023. P. 830–834. DOI: 10.1109/SIBIRCON56155.2022.10016914.
154. Dorodnykh N.O., Stolbov A.B., Nikolaychuk O.A., Yurin A.Yu. An Intelligent Assistant for Decision Support in the Case of Aircraft Troubleshooting // Proc. of IX Intern. Conf. on



- Information Technology and Nanotechnology (ITNT). 2023. P. 1–5. DOI: 10.1109/ITNT57377.2023.10139242.
155. *Gruzdeva T., Ushakov A.* Semi-supervised k-means clustering via DC programming approach // Lecture Notes in Computer Science: XXII Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2023). 2023. Vol. 13930. P. 54–67. DOI: 10.1007/978-3-031-35305-5_4. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-35305-5_4.
156. *Irtegov V., Titorenko T.* On the Qualitative Analysis of the Equations of Motion of a Nonholonomic Mechanical System // Lecture Notes in Computer Science: Intern. Workshop on Computer Algebra in Scientific Computing (CASC 2023). 2023. Vol. 14139. P. 213–232. DOI: 10.1007/978-3-031-41724-5_12.
157. *Kazakov A.L., Lempert A.A.* Diffusion-Wave Type Solutions to a Nonlinear Second-Order Parabolic Equation // Abstracts of the Russian-Chinese Conference «Differential and Difference Equations». 2023. P. 136–139.
158. *Kenzin M., Bychkov I., Maksimkin N.* The multi-depot vehicle routing problem for group monitoring operations on discrete-continuous space // Матер. V Междунар. семинара по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (ICCS-DE 2023). 2023. P. 66–69.
159. *Kochemazov S., Kondratiev V.* Empirical Analysis of the RC2 MaxSAT Algorithm // Proc. of 46th Intern. Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO) – 2023. 2023. P. 1027–1032. DOI: 10.23919/MIPRO57284.2023.10159820.
160. *Kondratiev V., Otpuschennikov I., Semenov A.* Speeding up the Solving of Logical Equivalence Checking Problems with Disjunctive Diagrams // Proc. of 46th Intern. Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO) – 2023. 2023. P. 1021–1026. DOI: 10.23919/MIPRO57284.2023.10159845.
161. *Lobanov A., Anikin A., Gasnikov A., Gornov A., Chukanov S.* Zero-Order Stochastic Conditional Gradient Sliding Method for Non-smooth Convex Optimization // Communications in Computer and Information Science: XXII Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2023). 2023. Vol. 1881. P. 92–106. DOI: 10.1007/978-3-031-43257-6_8.
162. *Nikolaychuk O.A., Pestova Yu.V., Kosogorov D.E.* Software for urban space researching with public data for Irkutsk // Lecture Notes in Networks and Systems: Proc. of 7th Computational Methods in Systems and Software 2023. 2023.
163. *Oparin G.A., Bogdanova V.G., Pashinin A.A.* Binary dynamic models of structural synthesis of programs // Proc. of 46th Intern. Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO) – 2023. 2023. P. 1010–1015. DOI: 10.23919/MIPRO57284.2023.10159814.
164. *Oparin G.A., Bogdanova V.G., Pashinin A.A.* Qualitative analysis of the dynamics of asynchronous Boolean networks with control of update scheme for state variables // AIP Conf. Proc.: 12th Intern. Conf. on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Science (ICNPAA 2023). 2023.
165. *Oparin G.A., Bogdanova V.G., Pashinin A.A.* Dynamics and control in singular logical networks // AIP Conf. Proc.: 12th Intern. Conf. on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Science (ICNPAA 2023). 2023.
166. *Pestova Yu.V., Dorodnykh N.O., Yurin A.Yu.* Assessment of forecasting the risk of fires in forest areas based on the analysis of precedents // Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century (г. Иркутск, 18 мая 2023 г.). 2023. P. 34–36.
167. *Rusanov V., Gubanov I., Agafonov S., Daneev A.* Simulation of analytical calculations when optimizing integrative properties and composite metal coatings // Proc. of the 6th Intern. Conf. on



- Intelligent Human Systems Internation (IHSI 2023, Venice, 22–24 февраля 2023 г.). 2023. Vol. 69. P. 485–496. DOI: 10.54941/ahfe1002869.
168. *Solodusha S., Kokonova Yu.* Simulation of Nonlinear Dynamic Processes with Volterra Polynomials and Continued Fractions // 2023 Intern. Conf. on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). 2023. P. 967–971. DOI: 10.1109/ICIEAM57311.2023.10139168.
169. *Somov Ye.I., Oparin G.A.* Methods and software for computer-aided research and design of spacecraft attitude and orbit control systems // AIP Conf. Proc., 12th Intern. Conf. on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Science (ICNPAA 2023). 2023
170. *Sorokovikov P.* Hybrid algorithms based on nature-inspired and local descent methods for solving multiextremal optimization problems // Труды 21-й Всерос. Конф. с Междунар. участием «Математические методы распознавания образов» (ММРО–2023), 12–15 декабря 2023. 2023. С. 95.
171. *Sorokovikov P., Gornov A.* Modifications of genetic, biogeography and particle swarm algorithms for solving multiextremal optimization problems // AIP Conf. Proc.: IV International Scientific Conference On Advanced Technologies In Aerospace, Mechanical And Automation Engineering (Krasnoyarsk, 9 March 2023). 2023. Vol. 2700, № 1. P. 9. DOI: 10.1063/5.0124857.
172. *Vandanov S., Plyasunov A., Ushakov A.* Parallel Clustering Algorithm for the k-medoids Problem in High-dimensional Space for Large-scale Datasets // Proc. of the 19th Intern. Asian School-Seminar on Optimization Problems of Complex Systems (OPCS) (Novosibirsk–Moscow, Russia; Almaty, Kazakhstan). 2023. P. 119–124. DOI: 10.1109/OPCS59592.2023.10275752.
173. *Vasichenko A.* UAV mathematical modeling using differential equations // Матер. V Междунар. семинара по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (ICCS-DE 2023). 2023. P. 124–126.
174. *Vasilyev I.L., Muftahov I., Ushakov A.V.* MIP Heuristics for a Resource Constrained Project Scheduling Problem with Workload Stability Constraints // Lecture Notes in Computer Science: XXII Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2023). 2023. Vol. 13930. P. 212–223. DOI: 10.1007/978-3-031-35305-5_14. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-35305-5_14.
175. *Авраменко Ю.В., Хмельнов А.Е., Федоров Р.К.* Векторизация карто-схемы подстилающей поверхности Иркутской области // Матер. X Междунар. научной конф. «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли». 2023. С. 55–58.
176. *Берман А.Ф.* Информационная модель процесса формирования неисправностей и отказов опасных технических систем // Матер. VIII Всерос. конф. с международным участием «Безопасность и мониторинг природных и техногенных систем» (Красноярск, 16–20 октября 2023 г.). 2023. С. 37–42. DOI: 10.25743/SSTS.2023.74.89.007.
177. *Берман А.Ф.* Интерпретация некоторых понятий и определений в государственных стандартах по надежности в технике // Современные авиационные технологии. Intern. Conf. on Aviation Engineering. Матер. XVI Междунар. научно-практической конф. 2023. С. 11–15.
178. *Берман А.Ф., Дородных Н.О., Николайчук О.А., Юрин А.Ю.* Технология создания систем основанных на знаниях для исследования динамики технического состояния на основе трансформации концептуальных моделей // Матер. VIII Всерос. конф. с Междунар. участием «Безопасность и мониторинг природных и техногенных систем» (Красноярск, 16–20 октября 2023 г.). 2023. С. 42–46. DOI: 10.25743/SSTS.2023.73.72.008.
179. *Ботороева М.Н., Булатов М.В.* Исследование интегро-алгебраических уравнений типа Вольтерра с переменным нижним пределом интегрирования // Матер. Конф. «Современные методы теории краевых задач. Понтрягинские чтения – XXXIV». 2023. С. 83.
180. *Ботороева М.Н., Булатов М.В.* О численном решении интегро-алгебраических уравнений, оба предела интегрирования которых переменные // Матер. VIII Междунар.



- конф. «Математика, ее приложения и математическое образование» (МПМО23, Улан-Удэ, 26 июня–01 июля 2023 г.). 2023. С. 23–25. DOI: 10.53980/9785907599970_23.
181. Будникова О.С., Булатов М.В. О конструировании двухстадийных методов для численного решения интегро-алгебраических уравнений // Матер. VIII Междунар. конф. «Математика, ее приложения и математическое образование» (МПМО23, Улан-Удэ, 26 июня–01 июля 2023 г.). 2023. С. 26–28. DOI: 10.53980/9785907599970_26.
182. Будникова О.С., Булатов М.В. О построении экстраполяционных двухстадийных многошаговых методах для численного решения интегроалгебраических уравнений // Матер. конф. «Современные методы теории краевых задач. Понтрягинские чтения - XXXIV». 2023. С. 84.
183. Булатов М.В. О методах численного решения интегро-алгебраических уравнений // Матер. VIII Междунар. конф. «Математика, ее приложения и математическое образование» (МПМО23, Улан-Удэ, 26 июня–01 июля 2023 г.). 2023. С. 29–31. DOI: 10.53980/9785907599970_29.
184. Булатов М.В., Соловарова Л.С. О разрешимости квазилинейных интегро-алгебраических уравнений // Матер. VIII Междунар. конф. «Математика, ее приложения и математическое образование» (МПМО23, Улан-Удэ, 26 июня–01 июля 2023 г.). 2023. С. 32–34. DOI: 10.53980/9785907599970_32.
185. Бычков И.В., Давыдов А.В., Кензин М.Ю., Нагул Н.В., Толстихин А.А. Высокоуровневые методы интеллектуального управления группами мобильных роботов // XVI Всерос. мультikonф. по проблемам управления (МКПУ-2023). 2023. С. 133–136.
186. Бычков И.В., Феоктистов А.Г., Костромин Р.О. Мультиагентное управление потоками вычислительных заданий в гетерогенной распределенной вычислительной среде // Матер. V Междунар. семинара по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (ICCS-DE 2023). 2023. С. 19–24.
187. Бычков И.В., Жарков М.Л., Казаков А.Л. Железнодорожный транспортный коридор Китай – Монголия – Россия: текущее состояние и перспективы модернизации // Трансграничье Востока России в модернизационных процессах XX–XXI вв. 2023. С. 7–10.
188. Бычков И.В., Попова А.К., Фереферов Е.С., Фёдоров Р.К. Цифровая платформа мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории // Матер. VIII всероссийской конф. с Междунар. участием «Безопасность и мониторинг природных и техногенных систем» (Красноярск, 16–20 октября 2023 г.). 2023. С. 22–25. DOI: 10.25743/SSTS.2023.28.78.005.
189. Васиченко А.П. Математическое моделирование БПЛА с использованием дифференциальных уравнений // Матер. V Междунар. семинара по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (ICCS-DE 2023). 2023. С. 124–126.
190. Викулова Е. Исследование инвариантности алгоритмов поиска ключевых точек // Матер. V Междунар. семинара по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (ICCS-DE 2023). 2023. С. 127–129.
191. Горнов А.Ю., Аникин А.С., Зароднюк Т.С. Алгоритмы предоптимизационного и постоптимизационного анализа для невыпуклых функций // Труды 21-й Всерос. конф. с Междунар. участием «Математические методы распознавания образов» (ММРО-2023), 12–15 декабря 2023. 2023. С. 105.
192. Давыдов А.В., Ларионов А.А., Нагул Н.В. Исследование свойств дискретно-событийных систем с помощью логического подхода на примере наблюдаемости // XVI Всерос. мультikonф. по проблемам управления (МКПУ-2023). 2023. С. 151–154.



193. Давыдов А.В., Ларионов А.А., Нагул Н.В. Применение исчисления позитивно-образованных формул в задачах управления дискретно-событийными системами // Матер. IX Междунар. конф. “Знания-Онтологии-Теории” (ЗОНТ-2023, Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). 2023. С. 95–104.
194. Данеев А.В., Лакеев А.В., Линке Ю.Э., Русанов В.А. К разрешимости задачи реализации APL-регулятора дифференциальной адаптивной системы второго порядка // Матер. VIII Междунар. конф. «Математика, ее приложения и математическое образование» (МПМО23, Улан-Удэ, 26 июня–01 июля 2023 г.). 2023. С. 122–125. DOI: 10.53980/9785907599970_122.
195. Дородных Н.О., Николайчук О.А., Столбов А.Б. Создание виртуальных помощников на основе трансформации моделей // Труды 21-й Национальной конф. по искусственному интеллекту с Междунар. участием (КИИ–2023). 2023. С. 183–193.
196. Душкина Н. Сравнение популяционных алгоритмов оптимизации, вдохновленных живой природой // Матер. V Междунар. семинара по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (ICCS-DE 2023). 2023. С. 130–133.
197. Дымышиц А.М., Черкашин Е.А. Моделирование термального режима литосферы с использованием программы Geotherm // Геодинамическая эволюция литосферы центрально-азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). (Иркутск, 17–20 октября 2023 года). 2023. С. 98–99.
198. Дыхта В.А. Общий позиционный принцип минимума с нелинейными опорными мажорантами для дискретных задач оптимального управления // Матер. 5-й Междунар. конф. «Динамические системы и компьютерные науки: теория и приложения» (DYSC 2023, Иркутск, 18–23 сентября 2023 года). 2023. С. 92–95.
199. Дьякович М.П., Финогенко И.А. Динамика связанного со здоровьем качества жизни // Матер. VIII Междунар. конф. «Математика, ее приложения и математическое образование» (МПМО23, Улан-Удэ, 26 июня–01 июля 2023 г.). 2023. С. 87–89. DOI: 10.53980/9785907599970_87.
200. Еделев А.В., Горский С.А., Феоктистов А.Г., Бычков И.В. Организация высокопроизводительных вычислений для исследования живучести энергетических инфраструктур // Матер. конф. «Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2023)». 2023. Т. 5. С. 051132.
201. Еделев А.В., Горский С.А., Феоктистов А.Г., Бычков И.В., Марченко М.А. Развитие средств управления распределенными вычислениями в ORLANDO TOOLS // Матер. XVII Всерос. конф. с Междунар. участием «Параллельные вычислительные технологии» (ПаВТ’2023, Санкт-Петербург, 28–30 марта 2023 г.). 2023. С. 143–154.
202. Ефимова Н.В., Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С. Анализ заболеваемости населения арктической зоны в условиях изменения факторов среды обитания на основе математических моделей // Сборник научных матер. Всерос. конф. с Междунар. участием. II Лавёровские чтения арктика: актуальные проблемы и вызовы. Архангельск, 2023. 2023. С. 801–806.
203. Жарков М.Л., Казаков А.Л., Лемперт А.А. Применение сетей массового обслуживания для моделирования железнодорожных участков с пакетным движением // Матер. XXI Междунар. конф. имени А.Ф. Терпугова «Информационные технологии и математическое моделирование» (ИТММ-2022, Томск, 25–29 октября 2022 г.). 2023. С. 283–288.
204. Заикин О.С. Обращение 28-шаговой криптографической хеш-функции MD5 с помощью параллельных алгоритмов решения проблемы булевой выполнимости // Труды конф. Распознавание. 2023. С. 98–100.
205. Индуцкая Т.С. О численном решении систем дифференциальных уравнений дробного порядка хессенберговой формы // Матер. VIII Междунар. конф. «Математика, ее



- приложения и математическое образование» (МПМО23, Улан-Удэ, 26 июня–01 июля 2023 г.). 2023. Т. 109–111 DOI: 10.53980/9785907599970_109.
206. Казаков А.Л., Спевак Л.Ф. Аналитические и численные решения с нулевым фронтом параболической системы реакция-диффузия // Матер. 5-й Междунар. конф. «Динамические системы и компьютерные науки: теория и приложения» (DYSC 2023, Иркутск, 18–23 сентября 2023 года). 2023. С. 36–39.
207. Косов А.А. Об аналогах классических случаев в динамике гиростата // XIII Всерос. съезд по теоретической и прикладной механике (Санкт Петербург, 21–25 августа 2023 г.). 2023.
208. Косов А.А., Кензин М.Ю., Семенов Э.И., Толстихин А.А. Развитие методов моделирования, идентификации и управления формациями с распределенными характеристиками // XIII Всерос. съезд по теоретической и прикладной механике (Санкт Петербург, 21–25 августа 2023 г.). 2023.
209. Косов А.А., Семенов Э.И. О свойствах решений уравнений движения гиростата в одном специальном случае // Матер. VIII Междунар. конф. «Математика, ее приложения и математическое образование» (МПМО23, Улан-Удэ, 26 июня–01 июля 2023 г.). 2023. С. 118–121. DOI: 10.53980/9785907599970_118.
210. Косов А.А., Семенов Э.И., Толстихин А.А. О моделировании и идентификации параметров распределенных формаций // Сборник матер. XVI Междунар. научной конф. «Дифференциальные уравнения и их приложения в математическом моделировании». 2023. С. 90–95.
211. Косогоров Д.Е., Пестова Ю.В. Разработка инструмента исследования городского пространства через публичные данные на примере г. Иркутска // Сборник трудов Всерос. научно-практической конф. «Региональный туризм в условиях цифровой экономики» (Иркутск, 26 апреля 2023 г.). 2023. С. 49–55.
212. Марков Ю.А., Маркова М.А., Марков Н.Ю. Гамильтонов формализм для жестких и мягких возбуждений в плазме с неабелевым взаимодействием // Матер. 5-й Междунар. конф. «Динамические системы и компьютерные науки: теория и приложения» (DYSC 2023, Иркутск, 18–23 сентября 2023 года). 2023. С. 44–47.
213. Марков Ю.А., Маркова М.А., Марков Н.Ю. О точном решении уравнений эволюции для двух взаимодействующих узких волновых пакетов, распространяющихся в неабелевой плазме // Матер. 5-й Междунар. конф. «Динамические системы и компьютерные науки: теория и приложения» (DYSC 2023, Иркутск, 18–23 сентября 2023 года). 2023. С. 48–51.
214. Николайчук О.А., Пестова Ю.В., Павлов А.И., Косогоров Д. Сервис мониторинга сферы туризма территории на основе анализа информационных веб-ресурсов // Матер. V Междунар. семинара по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (ICCS-DE 2023). 2023. С. 70–77.
215. Орлов А.В. О методе локального поиска в задаче с равновесно-иерархической структурой // Труды XIX Междунар. Азиатской школы-семинара «Проблемы оптимизации сложных систем» (Новосибирск – Москва – Алматы). 2023. С. 34–41. DOI: 10.24412/cl-35066-023-1-34-41.
216. Парамонов В.В., Шигаров А.О. Извлечение иерархических пар из заголовков электронных таблиц // Матер. V Междунар. семинара по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (ICCS-DE 2023). 2023. С. 97–104.
217. Пестова Ю.В., Николайчук О.А., Косогоров Д.Е., Павлов А.И. Мониторинг коллективных средств размещения на основе данных из открытых источников // Матер. конф. «Интернет и современное общество» (г. Санкт-Петербург, 26–28 июня 2023 г.). 2023.



218. Пестова Ю.В., Поддубный И.А., Николайчук О.А. Анализ мест отдыха оз. Байкал на основе информации из социальных сетей // Матер. XXVIII Байкальской Всерос. конф. с Междунар. участием «Информационные и математические технологии в науке и управлении» (г. Иркутск, 29 июня–8 июля 2023 г.). 2023
219. Петренко П.С. О дифференциально-алгебраических уравнениях с гистерезисом // Матер. 5-й Междунар. конф. «Динамические системы и компьютерные науки: теория и приложения» (DYSC 2023, Иркутск, 18–23 сентября 2023 года). 2023. С. 59–62.
220. Попова А.К. Использование спутниковых данных для инициализации моделей динамики лесных ресурсов // Сборник статей 12-ой Междунар. конф. “Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг”. 2023. Т. 9
221. Роднищев Н.Е., Земляков А.С., Сомов Е.И., Опарин Г.А., Емалетдинова Л.Ю., Новикова С.В. Математическое и имитационное моделирование в проектировании и сопровождении вычислительных и управляющих систем аэрокосмической техники // Сборник трудов 11-й Всерос. научно-практической конф. по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2023). 2023. С. 49–64.
222. Самсонуик О.Н. Применение составных функций типа Ляпунова в задачах оптимального импульсного управления // Матер. 5-й Междунар. конф. «Динамические системы и компьютерные науки: теория и приложения» (DYSC 2023, Иркутск, 18–23 сентября 2023 года). 2023. С. 129–132.
223. Семенов Э.И., Косов А.А. О точных многомерных решениях нелинейной эллиптической системы со степенной нелинейностью // Матер. VIII Междунар. конф. «Математика, ее приложения и математическое образование» (МПМО23, Улан-Удэ, 26 июня–01 июля 2023 г.). 2023. С. 186–188. DOI: 10.53980/9785907599970_186.
224. Солодуша С.В., Коконова Ю.И. Задача идентификации входного сигнала нестационарных динамических систем // Матер. 5-й Междунар. конф. «Динамические системы и компьютерные науки: теория и приложения» (DYSC 2023, Иркутск). 2023. С. 63–65.
225. Столбов А.Б., Павлов А.И., Лемперт А.А. О проектировании потока работ в платформе создания систем, основанных на знаниях // Матер. V Междунар. семинара по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (ICCS-DE 2023). 2023. С. 82–87.
226. Ткачева Ю.В., Гурская О.В., Сорокин С.П. Из опыта организации проектной и учебно-исследовательской деятельности обучающихся базовой школы РАН // Базовые школы РАН: опыт управленческих и дидактических решений. 2023. № 3
227. Толстихин А.А. Биологически вдохновленная многоцелевая стратегия управления мобильными агентами при решении задачи обследования поля концентрации // Матер. V Междунар. семинара по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (ICCS-DE 2023). 2023. С. 88–96.
228. Финогенко И.А. О позиционных разрывных и импульсных управлениях // Матер. VIII Междунар. конф. «Математика, ее приложения и математическое образование» (МПМО23, Улан-Удэ, 26 июня–01 июля 2023 г.). 2023. С. 209–211. DOI: 10.53980/9785907599970_209.
229. Чекан М.А. Разработка среды пиктографического программирования киберфизических систем в парадигме машин состояний // Матер. V Междунар. семинара по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (ICCS-DE 2023). 2023. С. 149–151.
230. Чистяков В.Ф., Чистякова Е.В. О подходах к численному решению линейных дифференциально-алгебраических уравнений с прямоугольными матрицами



- коэффициентов и особыми точками в области определения // Матер. конф. «Современные методы теории краевых задач. Понтрягинские чтения – XXXIV». 2023. С. 434–436.
231. *Чистяков В.Ф., Чистякова Е.В.* О влиянии особых точек на численные процессы при решении начальных задач для дифференциально-алгебраических уравнений // Матер. VIII Междунар. конф. «Математика, ее приложения и математическое образование» (МПМО23, Улан-Удэ, 26 июня–01 июля 2023 г.). 2023. С. 245–247. DOI: 10.53980/9785907599970_245.
232. *Шугаров А.О.* Web Table Extraction: Problem Statement // Матер. V Междунар. семинара по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (ICCS-DE 2023). 2023. С. 97–104.

Тезисы докладов

233. *Anikin A., Sorokovikov P.* Multi-extremal optimization technology for the numerical study of atomic clusters with extra high dimensions // Book of Abstracts of the XIV Intern. Conf. «Optimization and Applications» (OPTIMA-2023). 2023. P. 19.
234. *Barkova M., Strekalovsky A.* On solving DC optimization problem with inequality constraints // XXII Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2023). 2023. P. 20.
235. *Bulatov M., Botoroeva M.* On integral-algebraic equations with variable limits of integration. Book of Abstracts of the Seventh international workshop on analysis and numerical approximation of singular problems // Abstracts of the Seventh intern. workshop on analysis and numerical approximation of singular problems (IWANASP-2023. Regua, Portugal, 12–14 October, 2023). 2023. P. 22.
236. *Chekan M.A.* Development of the architecture of the agentbased modeling system of microgrid interaction // Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century (г. Иркутск, 18 мая 2023 г.). 2023. P. 32–34.
237. *Chistyakova E.V., Chistyakov V.* On some properties of linear differential algebraic equations with rectangular coefficient matrices and singular points in the domain // Abstracts of the Seventh intern. workshop on analysis and numerical approximation of singular problems (IWANASP-2023. Regua, Portugal, 12–14 October, 2023). 2023.
238. *Enkhbat R., Sorokovikov P., Zarodnyuk T., Gornov A.* The modified parallel tangent global search algorithm for finding anti-Berge equilibrium in bimatrix game // XXII Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2023). 2023. P. 83–84.
239. *Finogenko I.A.* Method of limit differential inclusion for studying the asymptotic behavior of non-autonomous systems // Russian-Chinese Conf. «Differential and Difference Equations» (Novosibirsk, Russia, November 2–6, 2023). 2023. P. 53–54.
240. *Gornov A., Anikin A., Sorokovikov P., Zarodnyuk T.* Numerical study of large-scale atomic-molecular clusters // XXII Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2023). 2023. P. 63.
241. *Gornov A., Anikin A., Zarodnyuk T., Sorokovikov P., Tyatyushkin A.* Computational optimization technologies and applications // Proc. of Intern. Workshop «Critical Infrastructures in the Digital World» (IWCI-2023). 2023. P. 57.
242. *Gornov A., Anikin A., Zarodnyuk T., Sorokovikov P., Tyatyushkin A.* Numerical technique for nonconvex optimization problems based on sign gradient // Book of Abstracts of the XIV Intern. Conf. «Optimization and Applications» (OPTIMA-2023). 2023. P. 44.
243. *Kuzmenko V., Gornov A.* Development of practical approaches to the determination of reference intervals by indirect methods // Proc. of Intern. Workshop «Critical Infrastructures in the Digital World» (IWCI-2023). 2023. P. 51.



244. Orlov A. A computational study of hybrid genetic global search algorithm for hexamatrix games // XXII Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2023). 2023. P. 88.
245. Orlov A. Local search algorithm in bilevel optimization problems with a bimatrix game at the lower level and its testing // XXII Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2023). 2023. P. 87.
246. Solodusha S.V. Numerical method for reconstructing the input signal in integral models of a nonlinear dynamic system // Intern. Conf. on computational and applied mathematics (iccam) on the occasion of professor t. Zhanlav's 80th birthday (Ulaanbaatar, 22–24 сентября 2023 года). 2023. P. 65.
247. Solovarova L., Bulatov M.V. On solvability of quasilinear integral-algebraic equations form // Abstracts of Intern. Conf. on computational and applied mathematics (ICCAM) (Ulaanbaatar, Mongolia, September 22–24, 2023). 2023. P. 37.
248. Solovarova L., Indutskaya T. On a qualitative study of integral-algebraic equations // Abstracts of the Seventh intern. workshop on analysis and numerical approximation of singular problems (IWANASP-2023. Regua, Portugal, 12–14 October, 2023). 2023. P. 36.
249. Strekalovsky A. On convergence of global search in general DC optimization problem // XXII Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2023). 2023. P. 25.
250. Vandanov S., Plyasunov A., Ushakov A. Development of a parallel clustering algorithm for the k-medoids problem in high-dimensional space for large-scale datasets // XXII Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2023). 2023. P. 115–116.
251. Zharkov M., Lempert A. On the construction of the model of train movement along a railway section based on the queuing theory // Proc. of Critical Infrastructures in the Digital World (IWCI 2023). 2023. P. 38.
252. Zharkov M., Vu H. On the application of multiphase queuing systems for solving engineering problems // Proc. of Critical Infrastructures in the Digital World (IWCI 2023). 2023. P. 39.
253. Авраменко Ю.В., Фёдоров Р.К., Хмельнов А.Е. WPS сервис выделения связных компонент // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 3.
254. Авраменко Ю.В., Фёдоров Р.К., Хмельнов А.Е. Генерализация картосхемы методом выделения связных компонент // Матер. 21-й Междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 2023. С. 9.
255. Андреев Н.Н., Горнов А.Ю. Численное решение задачи поиска конфигураций точек на единичной сфере с минимальной энергией // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 9.
256. Баландин А.Л. The mathematical relations associated with the vortex beam tomography // Матер. Междунар. научной конф. «Современные проблемы обратных задач» посвященная 85-летию академика РАН В.Г. Романова, (6–9 ноября, 2023 года). 2023. P. 8.
257. Баркова М.В., Стрекаловский А.С. О решении задачи максимизации излучения фазированных антенных решеток // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 10.
258. Бокмельдер Е.П., Горнов А.Ю. Оценка эффективности инвестиций для задачи оптимизации программ по борьбе с преступностью // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 11.
259. Булатов М.В. Подходы к численному решению интегро-дифференциальных систем уравнений с тождественно вырожденной главной частью // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 12–13.



260. Булатов М.В., Соловарова Л.С., Индуцкая Т.С. О блочных методах для интегро-алгебраических уравнений // Матер. конф. «Современные методы теории краевых задач. Понтрягинские чтения – XXXIV». 2023. С. 89.
261. Васиченко А.П. Математическое моделирование квадрокоптера с использованием дифференциальных уравнений в среде MATLAB // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023.
262. Викулова Е.Р., Толстихин А.А. Подсистема определения препятствий для комплекса TEMAR // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 16.
263. Гасников А.В., Аникин А.С. Численное исследование вариантов метода условного градиента // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 18.
264. Гаченко А.С. Разработка методов обработки и сбора разноформатных данных в рамках цифрового мониторинга Байкальской природной территории // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 19–20.
265. Горнов А.Ю. Проблема аппроксимации множества достижимости для управляемых систем с переменным запаздыванием // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 21.
266. Горнов А.Ю. Технология глобальной оптимизации, основанная на динамике Ланжевена // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 23.
267. Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С., Аникин А.С., Сороковиков П.С. Применение облачных аппроксимаций для численного решения задач теории управления // Матер. XV Всерос. научно-практической конф. с Междунар. участием «Платоновские чтения». 2023
268. Давыдов А.В., Нагул Н.В. Логический подход к построению автоматных абстракций, применяемых в задачах супервизорного управления дискретно-событийными системами // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 72.
269. Дородных Н.О., Юрин А.Ю. Подход к созданию предметных графов знаний на основе аннотированных табличных данных // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 26–27.
270. Душкина Н.А., Толстихин А.А. Сшивка изображений при помощи роевых алгоритмов стохастической оптимизации // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 31.
271. Ефимова Н.В., Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С. Моделирование процессов заболеваемости населения арктической зоны // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 32.
272. Зароднюк Т.С., Горнов А.Ю. Методика численного решения начально-краевых задач для систем с переменным запаздыванием // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 23.
273. Зиновьева А.Ф., Ненашев А.В., Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С. Технология решения задачи оптимального управления квантовой системой с частично вычислимым функционалом // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 35.
274. Индуцкая Т.С. Численное решение вырожденных систем дифференциальных уравнений дробного порядка хессенберговой формы // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 37.



275. *Индущая Т.С.* Численное решение систем дифференциальных уравнений дробного порядка произвольного индекса // Матер. конф. «Современные методы теории краевых задач. Понтрягинские чтения – XXXIV». 2023. С. 189–191.
276. *Иртегов В.Д., Титоренко Т.Н.* О положениях равновесия и их устойчивости в задаче о движении твердого тела в шаровом подвесе // XIII Всерос. съезд по теоретической и прикладной механике (Санкт-Петербург, 21–25 августа 2023 г.). 2023
277. *Казаков А.Л., Лемперт А.А., Кузнецов П.А., Спевак Л.Ф.* Аналитическое и численное исследование диффузионных волн в нелинейной параболической модели реакции-диффузии // XIII Всерос. съезд по теоретической и прикладной механике (Санкт-Петербург, 21–25 августа 2023 г.). 2023. С. 113–114.
278. *Казаков А.Л., Лемперт А.А., Спевак Л.Ф.* Построение решений задачи со свободной границей для нелинейной параболической системы реакции-диффузии // Тез. докл. VIII Всерос. конф. с Междунар. участием «Задачи со свободными границами: теория, эксперимент и приложения» (Томск, 03–07 июля 2023 г.). 2023. С. 95–97.
279. *Кензин М.Ю.* Задача динамического покрытия непрерывной области распределенной группой мобильных агентов // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 38–39.
280. *Климонов М.С.* Разработка поисковой системы для геопортала // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 39.
281. *Кондратьев В.С., Семенов А.А.* Преобразования дизъюнктивных диаграмм в ROBDD в задачах проверки эквивалентности булевых схем // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 41–43.
282. *Косов А.А.* О гироскопической стабилизации равновесий одного класса нелинейных потенциальных систем // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 43.
283. *Костромин Р.О.* Инструменты мониторинга распределенных вычислительных ресурсов: классификация и обзор // Сборник статей Междунар. научно–практической конф.: Научно-технический прогресс: информация, технологии, механизм (г. Таганрог, 25 ноября 2023 г.). 2023. С. 24–27.
284. *Костромин Р.О.* Автоматизация создания экспериментальных стендов тестирования распределенных научных приложений // Сборник статей Междунар. научно–практической конф.: Научно-технический прогресс: информация, технологии, механизм (г. Таганрог, 25 ноября 2023 г.). 2023. С. 27–31.
285. *Косьянов Н.* Исследование эпидемических задач оптимального управления с нелинейными управляемыми системами // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 45.
286. *Кочемазов С.Е.* О способах построения SAT кодировок суммы нескольких чисел // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 46–47.
287. *Кузнецов П.А.* О некоторых точных решениях с нулевым фронтом для системы типа «хищник-жертва» // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 49.
288. *Кузьменко В.В., Аникин А.С., Горнов А.Ю.* Моделирование и оценка уровня атерогенной фракции холестерина // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 50.
289. *Ку克林 С.Г., Аникин А.С.* Интерактивная технология анализа данных холтеровского мониторингирования // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 52.



290. *Лакеев А.В.* Критерий обобщенной внутренней устойчивости нелинейных формаций // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 55–58.
291. *Леоненко Т.А., Новиков М.А.* Некоторые вычислительные особенности для механических систем с частными интегралами // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 63.
292. *Ломов В.П.* 1/Нс Спиновые степени свободы фермионных систем // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 64–65.
293. *Марков Ю.А., Маркова М.А., Марков Н.Ю.* О точном решении уравнений эволюции для двух взаимодействующих узких волновых пакетов, распространяющихся в неабелевой плазме // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 69–71.
294. *Марков Ю.А., Маркова М.А., Марков Н.Ю.* Гамильтонов формализм для жестких и мягких возбуждений в плазме с неабелевым взаимодействием // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 66–71.
295. *Николайчук О.А., Пестова Ю.В., Дородных Н.О.* Картирование риска лесных пожаров на основе метода RANDOM FOREST // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 77.
296. *Новоселов И., Ведерников В.* Создание сервиса планирования занятости аудиторий и составление списка мероприятий // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 81.
297. *Новоселов И., Ведерников В.* Развитие информационной системы учёта научной деятельности ИДСТУ СО РАН // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 72–73.
298. *Парамонов В.В., Шигаров А.О.* Анализ иерархии заголовка электронных таблиц // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 82–84.
299. *Пашинин А.А., Опарин Г.А., Богданова В.Г.* Инструментальные средства автоматизации разработки и применения пакета прикладных микросервисов // Тез. XXVIII Байкальской Всерос. конф. с Междунар. участием. 2023. С. 122.
300. *Пестова Ю.В.* The accuracy estimation of forest fire risk prediction based on CBR (CaseBased Reasoning) approach // Сборник тез. докл. семинара «Критические инфраструктуры в цифровом мире» (г. Иркутск, 16–21 марта 2023 г.). 2023. С. 50.
301. *Поддубный И.А., Пестова Ю.В., Николайчук О.А.* Извлечение информации о туристических местах Байкальского региона из постов социальных сетей // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 88–89.
302. *Попова А.К.* Сбор данных о породе и возрасте деревьев со спутника // Сборник матер. конф. Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2023. 2023. С. 398.
303. *Раджабов А.Е.* 1/Нс поправки в нелокальной кварковой модели // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 90–92.
304. *Свинин А.К.* О свойствах решений уравнения Сомос-4 // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 97–98.
305. *Свинин А.К.* Решение задачи Коши для цепочки Вольтерра // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 99–100.



306. *Семакин И.А., Груздева Т.В.* Тестирование алгоритмов k -средних в задачах кластеризации с расстоянием Махаланобиса // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 101.
307. *Соловарова Л.С., Булатов М.В.* Коллокационно-вариационные методы для дифференциально-алгебраических уравнений с сингулярными точками // Сборник тез. XV Междунар. молодежной научной школы-конф. «Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач» (Новосибирск, Академгородок, 30 октября–3 ноября 2023). 2023. С. 27.
308. *Сорокина П.Г., Сорокин С.П.* Рациональная добыча байкальского омуля с учетом официального вылова и преступности // Современные методы оценки и рационального использования водных биологических ресурсов (Москва, 20–24 ноября 2023 года). 2023. С. 131–133.
309. *Сорокиков П.С.* Численное исследование свойств алгоритма роевого интеллекта, полученного с использованием ChatGPT, для одномерного нелокального поиска // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 96.
310. *Сорокиков П.С.* Низкопотенциальные металлические кластеры Гупты размерностей от 1000 до 1100 атомов // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 93.
311. *Сорокиков П.С.* Численное исследование свойств «алгоритма кукушки» для решения многоэкстремальных задач оптимизации // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 94.
312. *Старицын М.В., Дрегля Д., Сидоров Л.Р.* Алгоритмы оптимального управления динамическими системами в пространстве мер на основе классических и нелокальных формул приращения // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 110.
313. *Столбов А.Б., Дородных Н.О., Николайчук О.А., Юрин А.Ю., Допиро Н.* Генерация и трансформация специализированных моделей для проблемно-ориентированного интеллектуального помощника // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 111–112.
314. *Стрельников А.Н., Горнов А.Ю.* Сравнительное исследование возможностей автомобильных моделей Дубинса и Ридса-Шеппа // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 105.
315. *Супруновский А.В., Жарков М.Л.* О применении сетей массового обслуживания для оценки пропускной способности однопутной железнодорожной линии // Матер. XXVIII Байкальской Всерос. конф. с Междунар. участием «Информационные и математические технологии в науке и управлении» (г. Иркутск, 29 июня–8 июля 2023 г.). 2023. С. 144.
316. *Титоренко Т.Н., Иртегов В.Д.* О некоторых результатах качественного анализа уравнений движения одной неголономной механической системы // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 114.
317. *Толстоногов А.А.* Теоремы сравнения для эволюционных включений с максимально монотонными операторами // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 117.
318. *Тятюшкин А.И.* Многометодная оптимизация управления в сложных прикладных задачах // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 109.
319. *Тятюшкин А.И., Горнов А.Ю.* Сепарабельные модельные функции для тестирования алгоритмов невыпуклой оптимизации // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 112.



320. Тятюшкин А.И., Горнов А.Ю. Оценка времени быстродействия в модели переходных режимов ЭЭС // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 110.
321. Феоктистов А.Г., Еделев А.В., Башарина О.Ю., Фереферов Е.С. Применение высокопроизводительных вычислений для решения задач исследования живучести энергетической инфраструктуры // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 125.
322. Феоктистов А.Г., Костромин Р.О., Воскобойников М.Л., Башарина О.Ю. Стенд тестирования сервис-ориентированных научных рабочих процессов // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 126.
323. Фереферов Е.С., Авраменко Ю.В., Бычков И.В., Гаченко А.С., Парамонов В.В., Попова А.К., Фёдоров Р.К., Хмельнов А.Е. Цифровая платформа мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 127–130.
324. Финогенко И.А. Асимптотическое поведение решений функционально-дифференциальных уравнений с разрывной правой частью: проблемы и методы исследований // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 135–136.
325. Фёдоров Р.К. Метод создания композиции сервисов обработки пространственных данных // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 131–134.
326. Хандаров Ф.В., Сорокинов П.С. Сравнительное исследование алгоритмов поиска ключевых точек геометрических мотивов в орнаментальных композициях // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 118.
327. Хмельнов А.Е. Реализация WPS-сервиса для получения фрагментов растров большого объёма // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 139–141.
328. Хмельнов А.Е., Гаченко А.С. Методы создания моделей прибрежного рельефа // Матер. 21-й Междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 2023. С. 412.
329. Чекан М.А. Мультиагентные средства моделирования взаимодействия микросетей // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 142.
330. Щербаков Д.Ю., Горнов А.Ю., Аникин А.С. Задача аппроксимации матричных данных // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 129.
331. Энхбат Р., Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С. Исследование нелокальных свойств задачи управления в модели Дэвиса-Элзинги // Матер. 39-й Междунар. конф. «Ляпуновские чтения 2023» (г. Иркутск, 4–8 декабря 2023 г.). 2023. С. 130.

Свидетельства о государственной регистрации объектов интеллектуальной собственности

332. Банищikov А.В. Символьное получение уравнений движения неголономных механических систем: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023611463 от 19.01.2023 М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.



333. *Бирюков В.В., Коконова Ю.И., Солодуша С.В.* Программное средство для построения динамической модели с помощью квадратичных полиномов Вольтерра и цепных дробей: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023618626 от 25.04.2023 М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.
334. *Воскобойников М.Л.* Планировщик схем решения задач для распределенных пакетов прикладных программ: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023685789 от 30.11.2023 М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.
335. *Ву Х.З., Жарков М.Л., Казаков А.Л.* Программа расчета показателей эффективности транспортных объектов и сетей на основе теории массового обслуживания: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023684839 от 19.11.2023 М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.
336. *Индущая Т.С.* Метод правых прямоугольников для численного решения дифференциально-алгебраических уравнений произвольного индекса с производной Римана-Лиувилля, имеющих постоянные матричные коэффициенты: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023616037 от 21.03.2023 М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.
337. *Костромин Р.О.* Модуль визуализации и анализа временных рядов системы мониторинга: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023685787 от 30.11.2023 М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.
338. *Михайлов А.А.* TAGGEDPDF: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023618627 от 26.04.2023 М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.
339. *Феоктистов А.Г.* Имитационная модель вероятностной нейронной сети для классификации заданий в системе мониторинга.: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023685788 от 06.02.2024 М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.
340. *Фёдоров Р.К.* Программная система выполнения WPS сервисов: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2024611171 от 24.12.2023 М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.
341. *Фёдоров Р.К., Авраменко Ю.В.* WPS сервис классификации космоснимков Sentinel-2: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2024610919 от 24.12.2023 М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2023.