

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

«20» 01 2022 г.

ИТОГОВЫЙ ОТЧЕТ

*о научной и научно-организационной работе
за 2021 год*

Одобен Ученым советом
ИДСТУ СО РАН
Протокол № 1 от 20.01.2022

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



Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2021 г.



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, д.т.н. Опарин Геннадий Анатольевич.

Первый заместитель директора по информатизации – к.т.н. Хмельнов Алексей Евгеньевич.

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

Заместитель директора по вычислительной инфраструктуре – к.т.н. Новопашин Алексей Петрович.

Заместитель директора по инженерной и инфокоммуникационной инфраструктуре – к.т.н. Маджара Тарас Игоревич.

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

Общая численность института – 155 чел., в т.ч. н.р. – 82. Из них ак. – 1, чл.-к. РАН – 1, д.н. – 24, к.н. – 49.

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. Н.И. Погодаев)

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 (д.т.н. Г.М. Ружников)

Лаборатория 4.1. Комплексных информационных систем (к.т.н. А.Е. Хмельнов)

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. А.Г. Феоктистов)

Лаборатория 5.2. Информационно-управляющих систем (к.т.н. С.А. Ульянов)

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	7
ВАЖНЕЙШИЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ.....	11
Направление науки: 1.1. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ	31
Проект «Теория и методы исследования эволюционных уравнений и управляемых систем с их приложениями»	31
Проект «Аналитические и численные методы математической физики в задачах томографии, квантовой теории поля и механике жидкости и газа».....	37
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»	40
Направление науки: 1.2. Компьютерные и информационные науки.....	44
Проект «Технологии разработки и анализа предметно-ориентированных интеллектуальных систем группового управления в недетерминированных распределенных средах»	44
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»	49
Проект «Теоретические основы, методы и высокопроизводительные алгоритмы непрерывной и дискретной оптимизации для поддержки междисциплинарных научных исследований».....	52
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОЕКТАМ, ПОДДЕРЖАННЫМ СОВЕТОМ ПО ГРАНТАМ ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	56
ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОВЕДЕННЫЕ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ РОССИЙСКОГО НАУЧНОГО ФОНДА	57
МЕЖДУНАРОДНЫЕ ГРАНТЫ РФФИ.....	59
ГРАНТЫ МИНОБРНАУКИ	60
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО МОЛОДЕЖНЫМ ПРОЕКТАМ.....	62
РАБОТЫ ПО РАЗВИТИЮ ИНФРАСТРУКТУРЫ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ИРКУТСКОГО НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА (ИИВС ИРНОК).....	63
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЕ ЦКП «ИРКУТСКИЙ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЙ ЦЕНТР СО РАН» (ИСКЦ).....	64
ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	65
НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	66



Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2021 г.

Ученый совет	66
Диссертационный совет	66
Научные кадры	66
Конференции и семинары	67
Связи с вузами	67
Членство в советах РАН и СО РАН	68
Членство в национальных и международных научных организациях	69
Членство в редколлегиях научных изданий	69
Членство в научно-технических советах и комиссиях органов государственной власти	70
Экспертная деятельность	71
МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ И СОВМЕСТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ С ЗАРУБЕЖНЫМИ НАУЧНЫМИ УЧРЕЖДЕНИЯМИ	72
Выезд в зарубежные командировки	72
Сотрудничество с зарубежными научными центрами	72
Приём иностранных учёных	73
Проведение международных конференций	75
Членство в международных академиях, ...	75
работа в международных организациях, ...	75
полученные награды международных научных организаций	75
ПЕРЕЧЕНЬ ПУБЛИКАЦИЙ И ПОЛУЧЕННЫХ ПАТЕНТОВ	77
Статьи в российских журналах	77
Статьи в зарубежных и переводных журналах	81
Статьи в сборниках трудов конференций	91
Тезисы докладов	93
Свидетельства о государственной регистрации объектов интеллектуальной собственности	96



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 2021 году в Институте работали 155 человек, из них 82 – научные работники, в том числе 1 действительный член РАН, 1 член-корреспондент РАН, 24 доктора наук и 49 кандидатов наук, молодых научных работников (до 39 лет) – 26, проходили обучение 8 аспирантов.

В 2021 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 государственных академий на 2021-2025 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.т.н. Э.И. Дружинин).

- 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 объемов разноформатных междисциплинарных данных и знаний, основанные на применении искусственного интеллекта, модельно-управляемого подхода и машинного обучения, № гос регистрации 121030500071-2 (руководитель – д.т.н. Г.М. Ружников).
- 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 2021 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 2021 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 2021 году проводились фундаментальные исследования за счет внебюджетных источников по 13 научно-исследовательским проектам РФФИ, 3 международным проектам. Проводились также исследования по 1 проекту РНФ.

Все задания 2021 года выполнены.

В 2021 году сотрудником ИДСТУ СО РАН совершен 1 выезд в зарубежную командировку в Республику Беларусь для участия в работе III Форума ученых государств-участников СНГ.

В 2021 году Институтом проведены следующие научные мероприятия:

1. Международная конференция «Теория математической оптимизации и исследование операций» (International Conference «Mathematical Optimization Theory and Operations Research», MOTOR-2021), 5-10 июля 2021 года, г. Иркутск, оз. Байкал, ИДСТУ СО РАН, ИММ УрО РАН (смешанный формат).

2. 3-й Международный семинар по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (3rd International Workshop on Information,



Computation, and Control Systems for Distributed Environments, ICCS-DE 2021), 5-9 июля 2021 года, г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН (онлайн формат).

3. 2-й Международный семинар по передовым информационным и вычислительным технологиям и системам (2nd International Workshop on Advanced Information and Computation Technologies and Systems, AICTS 2021), 6-10 декабря 2021 года, г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН (онлайн формат).

4. 37 Всероссийская конференция Ляпуновские чтения, 6–10 декабря 2021 года, г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН.

Сотрудниками Института в 2021 году опубликовано 256 работ, из них: 61 – в изданиях, включенных в международную базу цитирования Web of Science, 137 – в изданиях, включенных в международную базу цитирования Scopus, 161 – в изданиях, включенных в базу РИНЦ, получено 8 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ в Российском агентстве по патентам и товарным знакам.

Диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей защитил Костромин Р.О. (тема – «Модели, алгоритмы и инструментальные средства поддержки мультиагентного управления потоками вычислительных заданий», дата защиты – 04.02.2021).

Орденом Александра Невского награжден чл.-к. РАН Толстоногов А.А.

Медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени награжден д.т.н. Ружников Г.М.

Медалью «За вклад в реализацию государственной политики в области научно-технологического развития» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации награждены д.ф.-м.н. Марков Ю.А. и к.т.н. Фереферов Е.С.

Медалью «За безупречный труд и отличие» III степени Министерства науки и высшего образования Российской Федерации награжден д.ф.-м.н. Тятюшкин А.И.

Почетной грамотой Министерства науки и высшего образования Российской Федерации награждены д.ф.-м.н. Иртегов В.Д. и к.ф.-м.н. Груздева Т.В.

Почетной грамотой мэра г. Иркутска и Почетной грамотой Законодательного собрания Иркутской области награжден к.т.н. Фереферов Е.С.

Знак отличия «Ветеран» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации получили д.ф.-м.н. Дыхта В.А. и д.т.н. Опарин Г.А.

Нагрудным знаком «Молодой ученый» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации награжден к.ф.-м.н. Сорокин С.П.

Почетной грамотой ИрФ СО РАН за личный вклад в развитие отечественной науки, многолетний добросовестный труд и в связи с Днем российской науки к.т.н. Богданова В.Г.

Именную стипендию мэра города Иркутска в области науки и техники для нужд городского хозяйства получили к.т.н. Дородных Н.О., к.т.н. Костромин Р.О. и программист Пестова Ю.В.

Стипендию 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), получил к.т.н. Костромин Р.О.

Стипендию Президента РФ молодым ученым и аспирантам СП-3545.2019.5 «Применение высокопроизводительных вычислений к построению алгебраических атак на криптографические хеш-функции» получила Грибанова И.А.

Стипендию Президента РФ молодым ученым и аспирантам СП-2017.2019.5 «Разработка комплекса алгоритмов для поиска декомпозиций трудных примеров задачи булевой выполнимости с применением методов комбинаторной оптимизации» получил Кочемазов С.Е.

Грант для аспирантов и молодых сотрудников ИГУ № 091-21-306 получил Марков Н.Ю.

Лауреатом областного конкурса в сфере науки и техники 2021 года в номинации «За лучшие научные, научно-технические и инновационные разработки молодых ученых» стал к.т.н. Дородных Н.О.

Диплом победителя конкурса молодых ученых за доклад на XXII Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (Новосибирск, 2021) и диплом лауреата конкурса молодых ученых на Международной конференции «Марчуковские научные чтения 2021» (Новосибирск, 2021) получил Толстихин А.А.

Победителями областного конкурса в сфере науки и техники 2021 года в номинации «За значительный вклад в развитие науки и техники и решение социально-экономических проблем Иркутской области» за работу «Гибридная ГИС по формированию цифровой модели рельефа прибрежных участков р. Ангара для моделирования различных вариантов снижения рисков потенциальных затоплений прилегающих к ней территории» стали к.т.н. Хмельнов А.Е. и к.т.н. Гаченко А.С.

Победителями областного конкурса в сфере науки и техники 2021 года в номинации «За лучшие научные, научно-технические и инновационные разработки молодых ученых» за работу «Метод и программные средства создания баз знаний интеллектуальных систем поддержки принятия решений на основе модельных трансформаций» стали к.т.н. Дородных Н.О. и к.т.н. Михайлов А.А.

Итоги конференции «Ляпуновские чтения»:

Первые места заняли: группа авторов работы «Автоматическое понимание табличной информации» — Шигаров А.О., Парамонов В.В., Черкашин Е.А., Михайлов А.А., а также Баландин А.Л. за цикл статей «Методы интегральной геометрии в исследованиях физических процессов».

В конкурсе лучших докладов молодых ученых ИДСТУ СО РАН в рамках «Ляпуновских чтений» победителями стали: Баркова М.В., Белых А.А., к.т.н. Жарков М.Л., Кондратьев В.С., Марков Н.Ю., Пестова Ю.В. и Толстихин А.А.



ВАЖНЕЙШИЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Исследование неявных дифференциальных включений

В сепарабельном гильбертовом пространстве рассматривается эволюционное включение, правая часть которого содержит субдифференциал зависящей от времени собственной, выпуклой, полунепрерывной снизу функции и многозначное возмущение. Значениями возмущения являются замкнутые, не обязательно выпуклые множества. Субдифференциал, входящий в правую часть включения, вычисляется не в точках значений решений, а на значениях функции, переменными у которой являются как значения решения, так и значения его производной. Такие включения называют неявными. Доказана теорема существования решения. Когда возмущение является однозначной функцией, то при естественных предположениях решение является единственным. Выведено обыкновенное явное дифференциальное включение, множество решений которого совпадает с множеством решений исходного неявного эволюционного включения. Как следствие получены теоремы существования решений неявных выпуклых процессов выметания с невыпуклозначными возмущениями. Для неявных эволюционных включений субдифференциального типа результаты являются новыми и не имеют аналогов. Для неявных процессов выметания полученные результаты обобщают известные.

Авторы: чл.-к. РАН Толстоногов А.А., к.ф.-м.н. Тимошин С.А.

Наиболее значимые публикации по результату:

Timoshin S.A., Tolstonogov A.A. Implicit subdifferential inclusions with nonconvex-valued perturbations // Journal of Fixed Point Theory and Applications. 2021. Vol. 23, № 3. P. 23-36. DOI:10.1007/s11784-021-00872-2. (Web of Science Q1)

2. Сверхустойчивость интервального семейства дифференциально-алгебраических уравнений

Рассматривается интервальное семейство ДАУ в предположениях, гарантирующих совпадение структуры общего решения каждой из систем рассматриваемого семейства со структурой общего решения номинальной системы. Анализ базируется на преобразовании интервального семейства ДАУ к виду с разделенными дифференциальной и алгебраической составляющими. Такое преобразование включает в себя обращение интервальной матрицы. Получены условия, позволяющие оценить норму обратной интервальной матрицы. В предположении сверхустойчивости дифференциальной подсистемы номинальных ДАУ найдена оценка радиуса устойчивости. Получены достаточные условия робастной устойчивости на основе условия сверхустойчивости дифференциальной части интервального семейства. Преимуществом этих результатов является то, что использованные предположения не накладывают ограничений на внутреннюю структуру номинальных ДАУ, ориентированы на системы произвольного индекса с возмущениями, присутствующими во всех матричных коэффициентах. Полученные условия робастной устойчивости носят конструктивный характер и несложны для практической проверки.

Автор: д.ф.-м.н. Щеглова А.А.



Наиболее значимые публикации по результату:

Щеглова А.А. К вопросу о сверхустойчивости интервального семейства дифференциально-алгебраических уравнений // Автоматика и телемеханика. 2021. № 2. С. 55-70.

3. Общий позиционный принцип минимума для невыпуклой задачи оптимального управления

Доказано, что любая опорная мажоранта исследуемого процесса в классической задаче оптимального управления порождает необходимое условие оптимальности в форме общего позиционного принципа минимума. Тем самым возникает бесчисленное семейство позиционных принципов минимума (а, следовательно, и принципом максимума Понтрягина), различающихся котраекториями процесса в силу неоднозначности порождающих его (совместимых по траектории) управлений.

Этот результат обобщает и усиливает позиционный принцип минимума с квазилинейной опорной мажорантой и охватывает случай обобщенного исследуемого управления типа Гамкрелидзе.

Автор: д.ф.-м.н. Дыхта В.А.

Наиболее значимые публикации по результату:

Дыхта В.А. Квадратичные опорные мажоранты функционалов оптимального управления и их приложения // Известия ИГУ (подготовлена).

4. Управление процессом выметания на пространстве пополнений графиков BV-функций

Описано множество решений управляемого процесса выметания, заданного системой, состоящей из дифференциального уравнения и дифференциального включения, управляемых мерой (импульсным управлением). Многозначное отображение, задающее движущееся множество процесса выметания, зависит от выбора управляющей меры и имеет ограниченную полную вариацию относительно метрики Хаусдорфа. Процесс выметания задан в конечномерном пространстве, его решения принадлежат пространству пополнений графиков функций ограниченной вариации. Доказаны теорема об аппроксимации разрывного процесса выметания липшицевыми и теорема существования и единственности решения при заданном импульсном управлении. Реализована численная схема нахождения решения разрывного процесса выметания.

Автор: к.ф.-м.н. Самсонок О.Н.

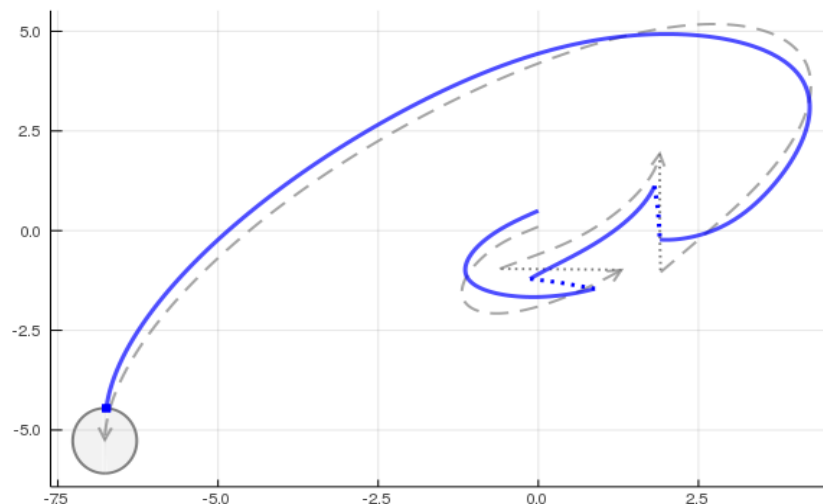


Рис. 1. Численное построение решения процесса выметания,
соответствующего заданному импульсному управлению

Наиболее значимые публикации по результату:

Самсонюк О.Н. Представление решений BV-процесса выметания // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (г. Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). Иркутск: ИДСТУ СО РАН, 2021. С. 48.

5. Существование решения задачи оптимального управления нелокальным уравнением баланса в пространстве знакопеременных мер

Доказана теорема о существовании решения задачи оптимального управления уравнением баланса (уравнением неразрывности с источником) в пространстве знакопеременных мер с общим целевым функционалом типа Больца в классе сосредоточенных (зависящих только от времени) существенно ограниченных управлений. Результат получен для случая нелокального векторного поля и нелинейного источника при довольно слабых предположениях регулярности (в частности, без предположения компактности носителей мер-состояний).

Поставленная задача оптимального управления нелокальным уравнением баланса в пространстве знакопеременных мер обобщает известные постановки задач управления бесконечными ансамблями траекторий и охватывает ряд прикладных моделей из математической биологии и логистики.

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



Наиболее значимые публикации по результату:

Погодаев Н.И., Старицын М.В. Нелокальные уравнения баланса с параметром в пространстве знакопеременных мер // Математический сборник. Том 213. № 1. 2022 <https://doi.org/10.4213/sm9516> (WoS, Scopus, SJR Q1).

6. Построение численных методов решения задач оптимального управления, основанных на криволинейном варьировании управления и ориентированных на поиск локальных экстремумов.

Предложен метод решения задачи оптимального управления, основанный на использовании методики криволинейного варьирования и локальной аппроксимации множества достижимости. На каждой итерации, используя антиградиент функционала и одну случайно сгенерированную пробную точку – вспомогательное управление, строится кривая в многомерном пространстве, минимум вдоль которой ищется локальным алгоритмом одномерного поиска. Алгоритм реализован на языке C/C++ с использованием технологии параллельного программирования NVIDIA CUDA. Вычислительные эксперименты с предложенным алгоритмом проводились на различных вычислительных системах, имеющих в своём составе ускорители NVIDIA GeForce 1060, GeForce 1070 и GeForce 2080 Ti. Результаты, полученные в режиме одинарной точности, продемонстрировали значительное ускорение расчётов. В качестве примера приведем решение модельной задачи оптимального управления с тремя фазовыми переменными. Динамика процесса определяется системой

$$\dot{x}_1 = \sin x_2, \dot{x}_2 = \sin x_3, \dot{x}_3 = \sin x_1 + u, \\ t \in [0, 17], x(0) = (1, 0, 0), 0 \leq u(t) \leq 0.1.$$

Задача заключается в минимизации $I(u) = (x_1(17) - 2)^2 + (x_2(17) + 1.8)$.

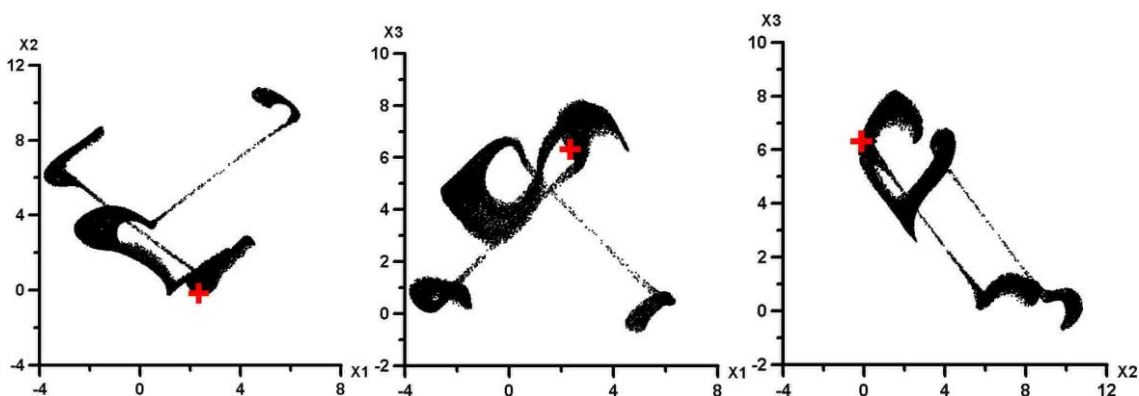


Рис. 2. Проекция множества достижимости рассмотренной системы на плоскости

На рис. 2 приведены проекции множества достижимости системы на плоскости первой–второй, первой–третьей и второй–третьей фазовых переменных; проекции оптимальной траектории в конечный момент времени обозначены красным маркером.



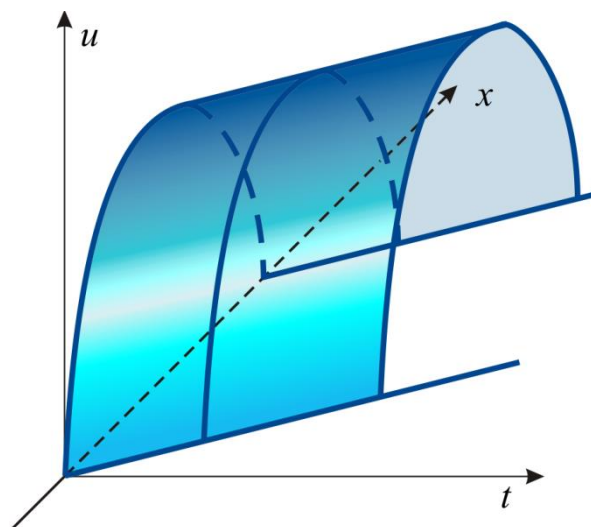
Авторы: д.т.н. Горнов А.Ю., к.т.н. Зароднюк Т.С., к.ф.-м.н. Аникин А.С., д.т.н. Тятюшкин А.И.

Публикации к результату:

1. Gornov A.Yu., Anikin A.S., Andrianov A.N. Numerical Study of High-Dimensional Optimization Problems Using a Modification of Polyak's Method // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2021. Vol. 61. P. 1053-1062. DOI: 10.1134/S0965542521070034.
2. Sorokovikov P., Gornov A., Strelnikov A. Algorithm for the numerical solution of optimal control problems in robotic systems // Lecture Notes in Computer Science: XII International Conf. on Optimization and Applications (OPTIMA 2021; Petrovac; Montenegro; September 27 - October 1, 2021). 13078. P. 203-214. DOI: 10.1007/978-3-030-91059-4_15.

7. Точные решения нелинейного параболического уравнения, имеющие тип диффузионной волны

Для нелинейного эволюционного параболического уравнения второго порядка достаточно общего вида был исследован вопрос о существовании, единственности и свойствах решений, имеющих вид диффузионной волны, распространяющейся по абсолютно холодному (покоящемуся) фону с конечной скоростью. Подобные решения совершенно не типичны для параболических уравнений и появляются вследствие вырождения задачи. Доказаны утверждения о существовании и единственности решений рассматриваемого типа в классе аналитических функций с построением примера, являющегося аналогом классического промера С.В. Ковалевской в рассмотренном случае. Поскольку теоремы не позволяют исследовать свойства решений, были рассмотрены анзацы, которые сводят построение решений к задачам Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений. Их удалось проинтегрировать и получить информацию о свойствах решений в частных случаях, которые особенно интересны для приложений. На рисунке представлено наиболее интересное из полученных решений $u=u(t,x)$, имеющее вид уединенной волны (солитона), который движется по покоящемуся фону с постоянной скоростью.



Автор: д.ф.-м.н. Казаков А.Л.

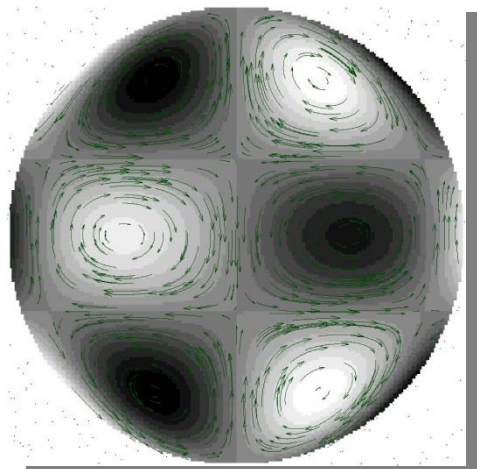
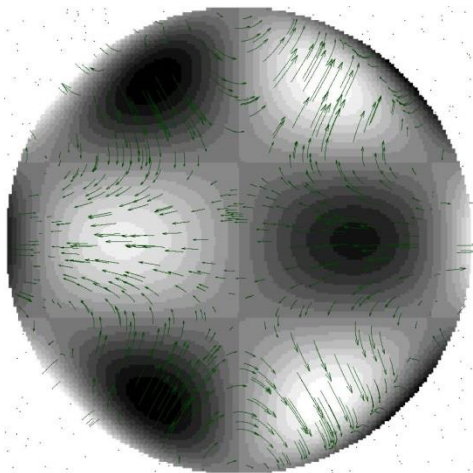


Публикации по результату:

1. Kazakov A. Solutions to Nonlinear Evolutionary Parabolic Equations of the Diffusion Wave Type // Symmetry-Basel. 2021. Vol. 13, № 5.
2. Kazakov A.L., Spevak L.F. Exact and approximate solutions of a problem with a singularity for a convection-diffusion equation // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2021. Vol. 62, № 1. P. 18-26.

8. Методы интегральной геометрии в исследовании физических процессов

Получены интегральные соотношения типа Функа-Хекке для векторных сферических волновых функций. Полученные интегральные соотношения использованы для вывода лучевых преобразований для векторных функций Хансена (Hansen W.W.) а также для разработки численных алгоритмов для исследования линейных полей Бельтрами. Метод основан на разложении векторного поля и его лучевого преобразования по базисным сферическим векторным волновым функциям. На рисунках представлены два частных случая базисных векторных сферических волновых функций $M_5^3(r)$ и $N_5^3(r)$.



Автор: д.ф.-м.н. Баландин А.Л.

Публикация по результату:

Balandin A.L. The Funk-Hecke type relations and ray transform for the vector spherical wave functions // Mathematical Methods in the Applied Sciences. 2021. Vol. 44, issue 14. P.11124-11137. DOI: 10.1002/mma.7475.

9. Аналитические решения нелинейной параболической системы, имеющие тип диффузионной волны, при наличии цилиндрической и сферической симметрии

Исследована задача о построении диффузионной волны для нелинейной параболической системы типа «реакция-диффузия» при наличии цилиндрической или сферической



симметрии (случай плоской симметрии рассматривался авторами ранее). Доказана теорема существования и единственности кусочно-аналитического решения (диффузионная волна). Решение построено в виде сходящихся рядов Тейлора, получены рекуррентные формулы для вычисления коэффициентов. Приведен и подробно разобран контрпример, иллюстрирующий поведение решения при нарушении некоторых условий теоремы (аналог контрпримера Ковалевской). Приведены точные решения типа диффузионных волн с экспоненциальным и степенным фронтами при степенном задании функций источника. При этом выполнена редукция к задаче Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений, наследующей особенности исходной.

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

Публикации по результату:

1. Kazakov A.L., Kuznetsov P.A. Analytical diffusion wave-type solutions to a nonlinear parabolic system with cylindrical and spherical symmetry // The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Mathematics. 2021. Vol. 37. P. 31-46.
2. Казаков А.Л., Кузнецов П.А., Спесак Л.Ф. Построение решений краевой задачи с вырождением для нелинейной параболической системы // Сибирский журнал индустриальной математики. 2021. Т. 24, № 4. С. 64-78.
3. Kazakov A.L., Spevak L.F. Exact and approximate solutions to the degenerated reaction-diffusion system // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2021. Vol. 62, № 4. P. 673-683.

10. Прецизионная калибровка дифференциально-матричной модели резонансных колебаний сверхпротяженной механической конструкции

Предложено аналитическое обоснование метода прецизионной калибровки многомерной идентифицированной дифференциально-матричной модели (в форме уравнений Лагранжа 2-го рода) демпфированных колебаний сверхпротяженной механической конструкции (СМК). Результаты статьи имеют приложения в математическом моделировании многочастотных вынужденных колебаний СМК, генерируя теоретико-прикладные постановки для синтеза многоканальных динамических компенсаторов критических резонансных колебаний СМК.

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

Наиболее значимые публикации по результату:

Rusanov V.A., Daneev A.V., Lakeyev A.V., Linke Yu.É. To precision calibration of a differential-matrix model of resonant oscillations of the cable-stayed bridge // Advances in Differential Equations and Control Processes. 2021. Vol. 24. No. 2. P. 199-216.

11. Регрессионно-тензорное моделирование процесса оптимального упрочнения металлопокрытий

Исследована нелинейная многомерная регрессионно-тензорная модель для аналитического обоснования условий оптимизации технологического расчета



многофакторного физико-химического процесса упрочнения композитных сред металлопокрытий. Предложена процедура параметрического формирования целевого функционала качества интегративных физико-механических свойств проектируемого 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 противокоррозионных, испытаний. Такой подход благодаря обилию имеющихся вычислительных задач, а также вследствие возможностей, которые она открывает для приложений нелинейного многомерного регрессионно-тензорного анализа, может приобрести большое (расширенное) значение в задачах прецизионной многофакторной нелинейной оптимизации физико-химических процессов упрочнения сложных композитных металлопокрытий и метаматериалов.

Иллюстрации к результату:

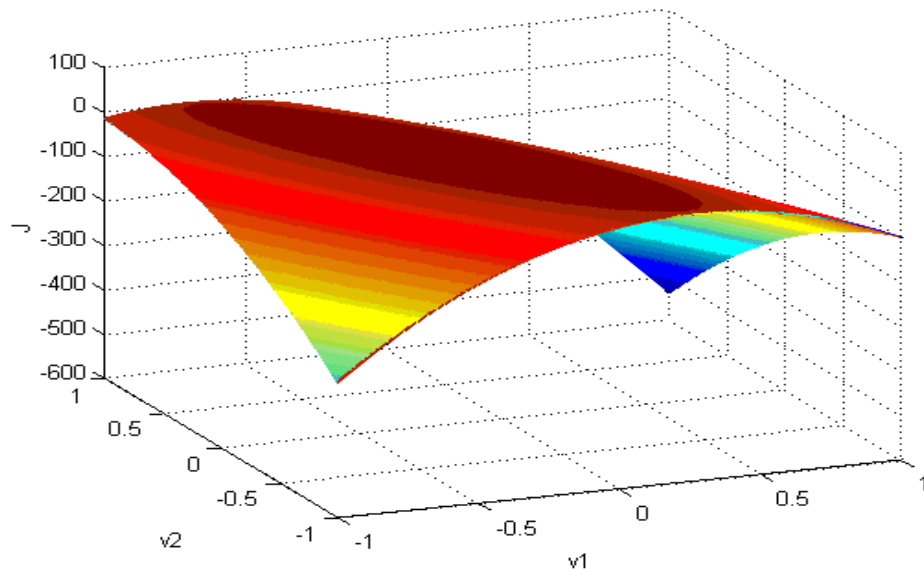


Рис. 3. Зависимость толщины сульфохромированного слоя
от температуры и длительности процесса обработки плунжерной пары – $J_1(v_1, v_2)$

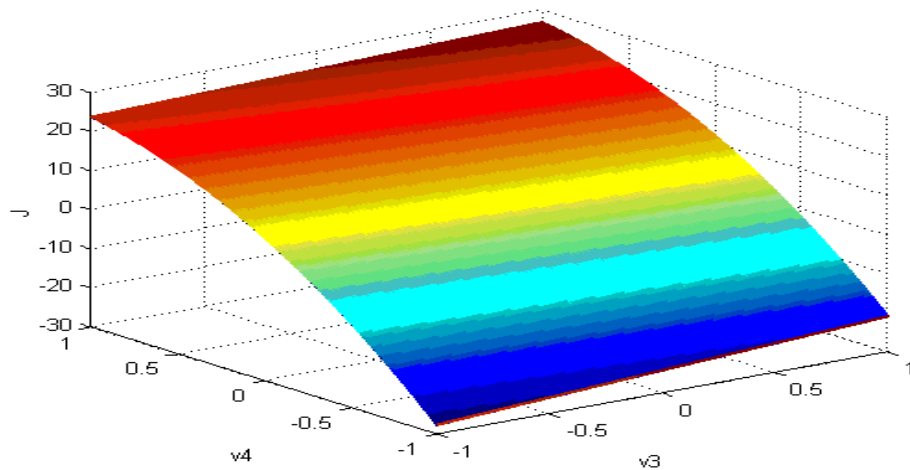


Рис. 4. Зависимость толщины сульфохромированного слоя
от концентраций гидроксида натрия и серы – $J_1(v_3, v_4)$

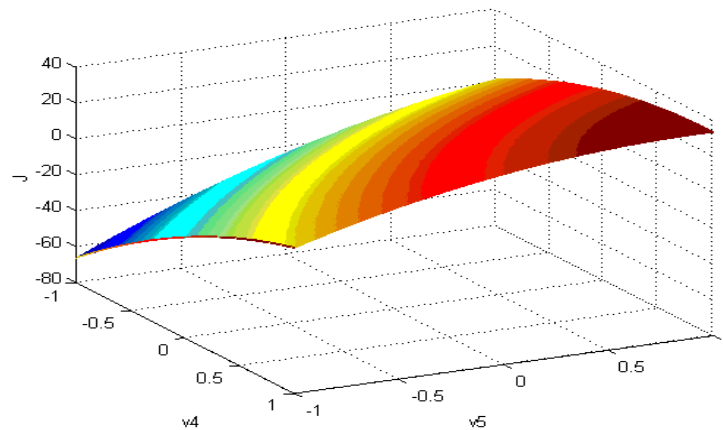


Рис. 5. Зависимость толщины сульфохромированного слоя
от концентраций серы и сульфида натрия – $J_1(v_4, v_5)$

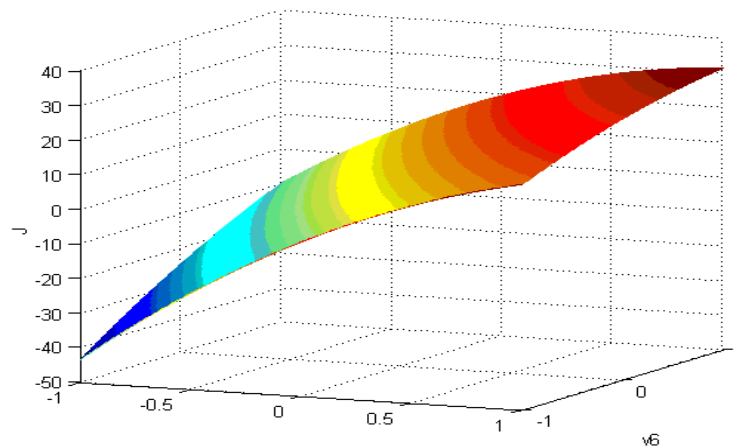


Рис. 6. Зависимость толщины сульфохромированного слоя
от концентраций сульфида натрия и гипосульфита натрия – $J_1(v_5, v_6)$

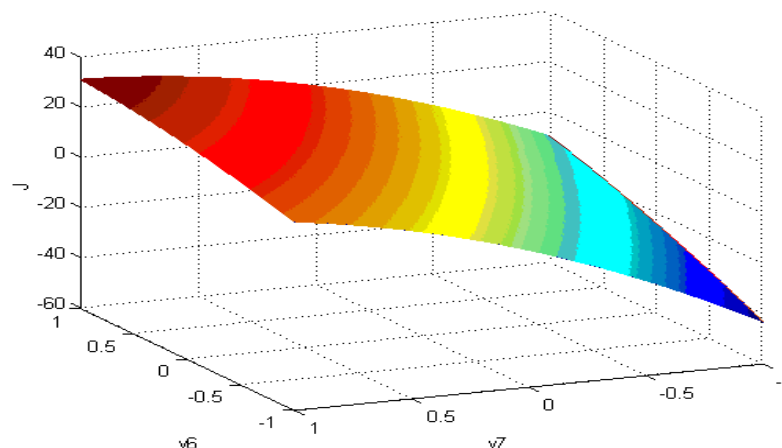


Рис. 7. Зависимость толщины сульфохромированного слоя
от концентраций гипосульфита натрия и окиси хрома – $J_1(v_6, v_7)$

Автор: д.ф.-м.н. Русанов В.А.

Наиболее значимые публикации по результату:

Rusanov V.A., Agafonov S.V., Daneev A.V., Gubanov I.A. On the regression-tensor analysis of the hardening process of metal coatings // Journal of Applied Mathematics and Physics. 2021. No. 9. P. 1639-1651.

12. Разработана технология классификации мультиспектральных космоснимков Sentinel-2 для организации экологического мониторинга Байкальской природной территории

Классификация космоснимков проводится с использованием нейронной сети ResNet50. Исследователям часто требуется выделять на космоснимках специфичные классы. Технология позволяет определить набор классов, подготовить обучающую выборку, провести верификацию и выполнить классификацию большого количества снимков. Обучающая выборка формируется с помощью Web-интерфейса на основе космоснимков Sentinel-2 и полевых исследований. В качестве входных данных нейронная сеть принимает 13 каналов Sentinel-2 и канал, построенный на основе локальных бинарных шаблонов для учета текстурных характеристик. Проведены эксперименты на 12 классах.

Точность результатов показала, что технология классификации может применяться для решения актуальных задач Байкальской природной территории, в частности, для анализа изменений лесного фонда, оценки влияния изменений климата на ландшафт, анализа динамики застройки, инвентаризации сельхозугодий и т.д. На рис. 8 показан достигнутый результат классификации типов земной поверхности космоснимка на Иркутскую область.

Публикации по результату:

1. Avramenko Y.V., Popova A.K., Fedorov R.K. Sentinel-2 data classifications for the Baikal natural area // Proc. of SPIE: 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics



(Moscow, 5–9 July 2021). 2021. Vol. 11916. P. 302-305 (Web of Science Emerging Sources Citation Index)

2. Avramenko Y.V., Popova A.K., Fedorov R.K. Cloud service of Geoportal ISDCT SB RAS for machine learning // CEUR Workshop Proceedings: 4th Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2021, Irkutsk, 14 September 2021). 2021. Vol. 2984. P. 6-10 (Scopus).

3. Bychkov I.V., Ruzhnikov G.M., Fedorov R.K., Popova A.K. Digital technologies for forest monitoring in the Baikal natural territory // CEUR Workshop Proceedings: 4th Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2021, Irkutsk, 14 September 2021). 2021. Vol. 2984. P. 1-5 (Scopus).

4. Авраменко Ю.В., Попова А.К., Ружников Г.М., Фёдоров Р.К. Непрерывная интеграция методов обработки ДЗЗ для исследования Байкальской природной территории // Сборники материалов VII Международной конференции и молодёжной школы «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2021, Самара, 20–24 сентября 2021 г.). 2021 (РИНЦ).

5. Авраменко Ю.В., Попова А.К., Федоров Р.К. Опыт применения RESNET50 для классификации ДЗЗ // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 3.

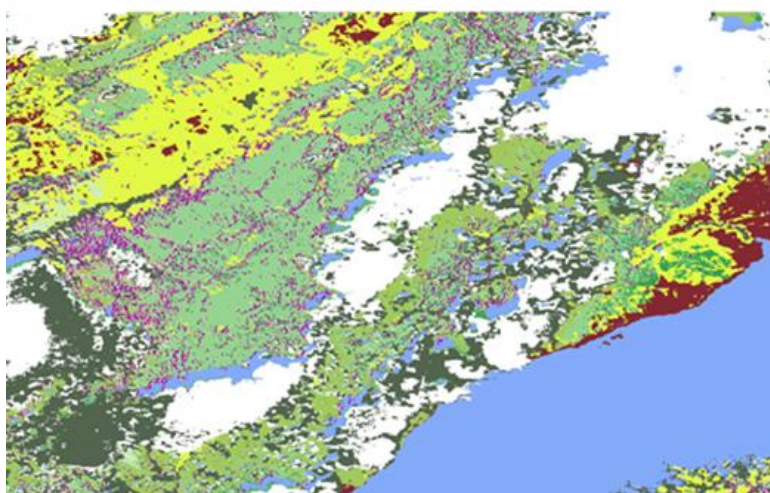




Рис. 8 – Результаты классификации: сверху исходный космоснимок,
снизу результат работы нейронной сети

*Авторы: д.т.н. Ружников Г.М., к.т.н. Федоров Р.К.,
к.т.н. Попова А.К., к.т.н. Авраменко Ю.В.*

13. Реализован метод обнаружения таблиц в неразмеченных PDF-документах, включая:

(i) искусственную нейросетевую модель предсказания позиций кандидатных таблиц на изображениях страниц документов; (i) классификатор кандидатных таблиц на основе алгоритма «Случайный лес» для фильтрации ложноположительных срабатываний. Предложенный метод был реализован в составе программного обеспечения извлечения таблиц из PDF-документов — TabbyPDF2 (см. <https://github.com/tabbydoc/tabbypdf2>). Оценка производительности с помощью соревновательного бенчмарка «ICDAR 2013 Table Competition» показала высокие результаты именно за счет роста точности обнаружения с включенной фильтрацией ложноположительных срабатываний.

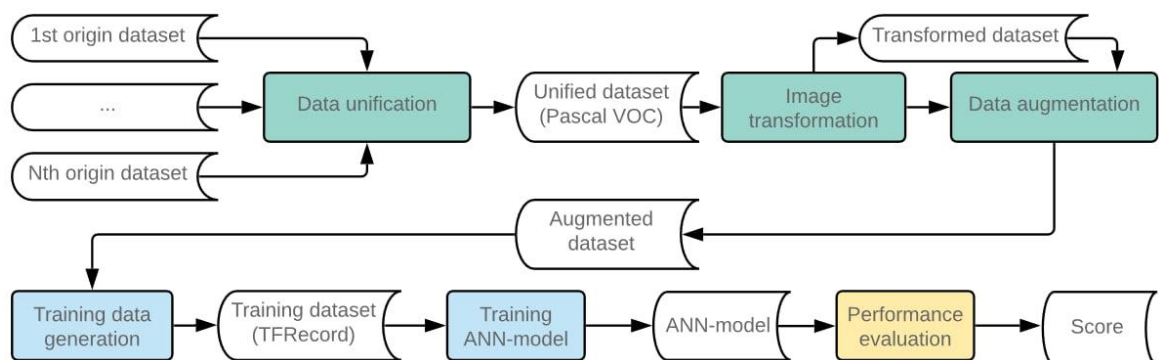


Рис. 9. Вычислительный конвейер обучения искусственных нейросетевых моделей
для обнаружения таблиц в изображениях документов

Авторы: к.т.н. Шигаров А.О., к.т.н. Михайлов А.А., Рожков Е.В., Черепанов Е.О.

Публикации по результату:

Mikhailov A., Shigarov A., Rozhkov E., Cherepanov I. On graph-based verification for PDF table detection. 2020 Ivannikov ISPRAS Open Conference (ISPRAS), 2020. P. 91-95. DOI: 10.1109/ISPRAS51486.2020.00020. (Publication date: 12 April 2021).

14. Алгоритмы и программные средства, обеспечивающие использование концептуальных моделей и электронных таблиц для формирования компонентов (модулей) интеллектуальных систем



Разработаны алгоритмы, модели и программные средства, обеспечивающие использование концептуальных моделей и электронных таблиц специальной структуры для формирования компонентов (модулей) интеллектуальных систем (сервисов). Разработанные алгоритмы расширяют оригинальную технологию прототипирования экспертных систем на основе трансформаций (ПЭСоТ) в части использования формализма деревьев событий, онтологий и таблиц решений в качестве исходной информации. Созданы программные средства в форме программ-конверторов: PKBD.Onto и PKBD.ExTree. Осуществлено их применение при решении практических задач (Рис.10).

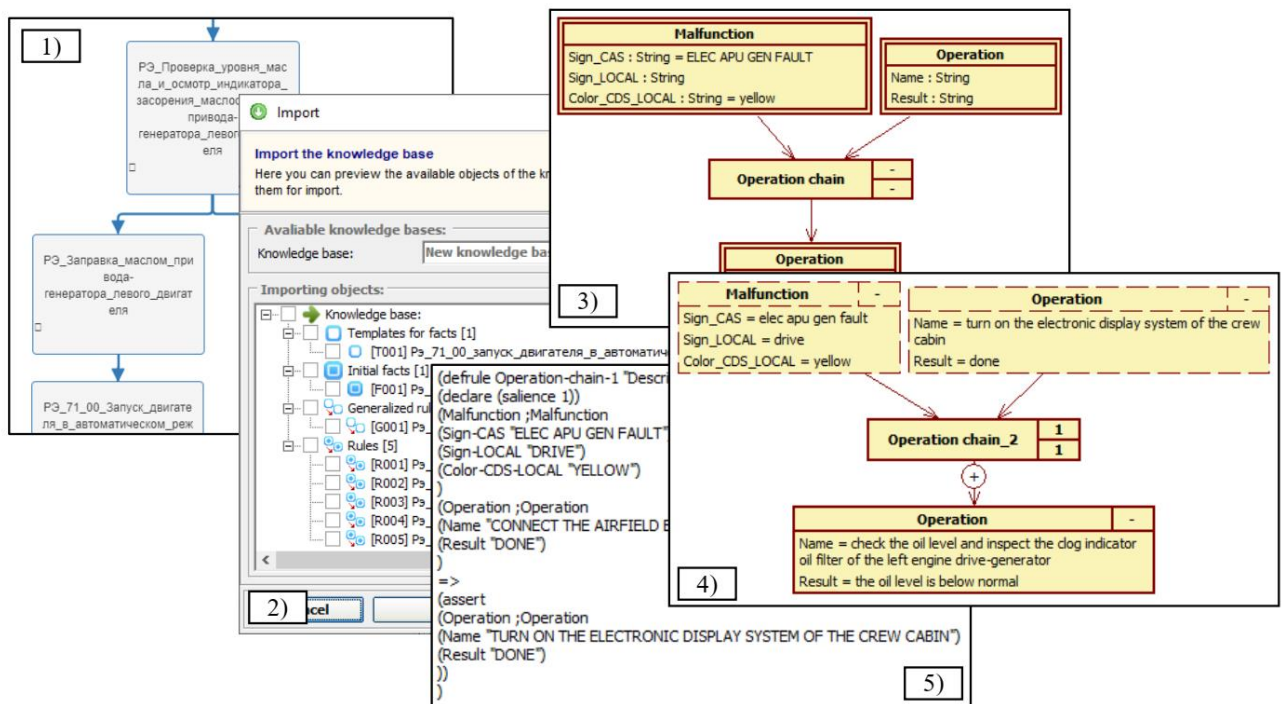


Рис. 10. Пример использования деревьев событий для генерации программных кодов:

- 1) исходное дерево событий; 2) просмотр результатов импорта дерева с помощью PKBD.ExTree;
- 3) шаблон правила, описывающий последовательность операций, получен как результата импорта;
- 4) конкретное правило, соответствующее шаблону;
- 5) сгенерированный код CLIPS, соответствующий конкретному правилу.

Авторы: к.т.н. Дородных Н.О., Малтугеева Г.С., д.т.н. Николайчук О.А., к.т.н. Юрин А.Ю.

Наиболее значимые публикации по результату:

1. Bychkov I.V., Yurin A.Yu. A method and tools for prototyping components of intelligent systems based on transformations. Journal of Physics: Conference Series. 13th Multiconference on Control Problems (MCCP 2020, 6-8 October 2020, Saint Petersburg, Russia). 2021. Vol.1864, 012042. DOI: 10.1088/1742-6596/1864/1/012042 (Scopus).
2. Dorodnykh N.O., Kotlov Y.V., Nikolaychuk O.A., Popov V.M., Yurin A.Yu. End-user development of knowledge bases for semi-automated formation of task cards // CEUR Workshop Proceedings. Proceedings of the 3rd International Workshop on Information,



- Computation, and Control Systems for Distributed Environments. 2021. Vol. 2913. P. 60-73. DOI: 10.47350/ICCS-DE.2021.05 (Scopus).
3. Dorodnykh N.O., Nikolaychuk O.A., Yurin A.Yu. Application of decision tables transformations for prototyping knowledge bases in the case of forest fire risk forecasting. Proceedings for the 3rd Scientific-practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2021). Irkutsk, Russia, September 14, 2021. (CEUR-Proc, Vol. 2984), pp. 34-41. CEUR-WS.org/Vol-2984/paper5.pdf (Scopus)
 4. Kotlov Yu.V., Popov V.M., Yurin A.Yu. The conception of an intelligent system for troubleshooting an aircraft. Proceedings for the 3rd Scientific-practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2021). Irkutsk, Russia, September 14, 2021. (CEUR-Proc, Vol. 2984), pp. 42-48. CEUR-WS.org/Vol-2984/paper6.pdf (Scopus)
 5. Kotlov Yu.V., Popov V.M., Yurin A.Yu. Towards designing knowledge bases for aircraft malfunctions diagnostics based on model transformations // Journal of Physics: Conference Series (Artificial Intelligence and Digital Technologies in Technical Systems II-2021), 2021, 2060: 012016. DOI: 10.1088/1742-6596/2060/1/012016 (Scopus, Q4)
 6. Yurin A.Yu., Dorodnykh N.O. Creating Web Decision-Making Modules on the Basis of Decision Tables Transformations // Communications in Computer and Information Science. Modelling and Development of Intelligent Systems (MDIS 2020), 2021, Vol. 1341, P. 167-184. DOI: 10.1007/978-3-030-68527-0_11 (Scopus, Q4)
 7. Yurin A.Yu., Dorodnykh N.O., Nikolaychuk O.A. The rapid development of knowledge bases using UML class diagrams // International Journal of Computer Aided Engineering and Technology, 2021, Vol. 14, No. 1, P. 39–61. DOI: 10.1504/IJCAET.2021.111635 (Scopus, Q4)

15. Булевы модели качественного анализа и структурно-параметрического синтеза нелинейных управляемых двоичных динамических систем

На основе логического подхода разработаны булевы модели локальных динамических свойств, свойства периодичности траекторий, свойств типа управляемости и наблюдаемости (рис. 11) нелинейных управляемых двоичных динамических систем (ДДС), структурно-параметрического синтеза ДДС с заданным набором динамических свойств. Проверка выполнимости свойства сводится к задаче разрешимости булева ограничения. Предложенный подход позволяет за счет параллелизма по данным существенно увеличить размерность вектора состояния системы и промежутков времени ее функционирования при решении NP-сложных задач качественного анализа в высокопроизводительной вычислительной среде. Практическая значимость полученных результатов обусловлена широким применением ДДС как моделей нелинейных управляемых объектов при проведении исследований в биоинформатике (рис. 12), криптографии, исследовании отказоустойчивости компьютерных сетей и во многих других предметных областях.

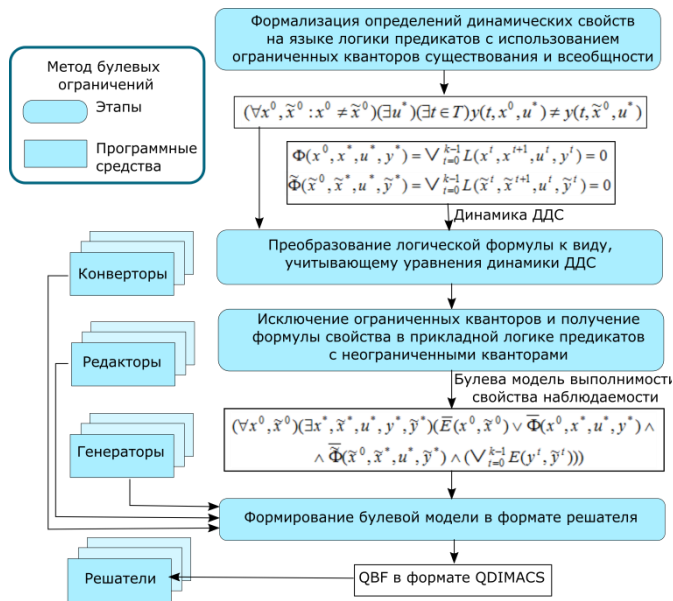


Рис. 11. Схема формирования булевой модели свойства k-наблюдаемости BN

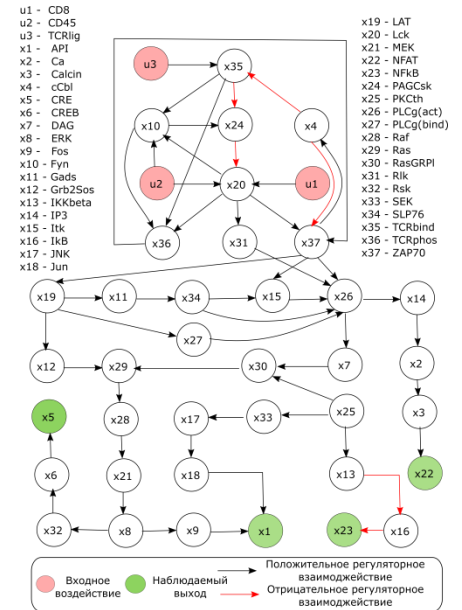


Рис. 12. Булева сеть (BN) активации Т-клеток

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

Наиболее значимые публикации:

1. Oparin G.A., Bogdanova V.G., Pashinin A.A. Investigation of observability property of controlled binary dynamical systems: a logical approach // Proc. of the 3rd Int. Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (ICCS-DE 2021), Irkutsk, Russia, July 5-9, 2021. CEUR-WS Proceedings. 2021. Vol. 2913. P. 129–138.
2. Oparin G.A., Bogdanova V.G., Pashinin A.A. Service-oriented Application for Solving Parametric Synthesis Problem of a Boolean Network with Given Dynamic Properties // Proc. of the 44th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), September 27 – October 1. 2021, Opatija, Croatia. IEEE-2021. P. 242–247.

16. Инструментальные средства создания масштабируемых приложений на основе суперкомпьютерного инжиниринга

Разработаны инструментальные средства организации взаимодействия между GPSS-моделью и агентами, представляющими компоненты ИВС и их программно-аппаратные инфраструктуры. Данные средства обеспечивают доставку, размещение и настройку агентов в узлах среды, конфигурирование требуемого прикладного и системного ПО, а также поддержку запросов GPSS-модели к агентам с помощью специализированного API. Их применение обеспечивает существенное сокращение сроков подготовки и проведения крупномасштабных экспериментов по имитационному моделированию ИВС, а также повышение надежности распределенных вычислений (рис. 13).

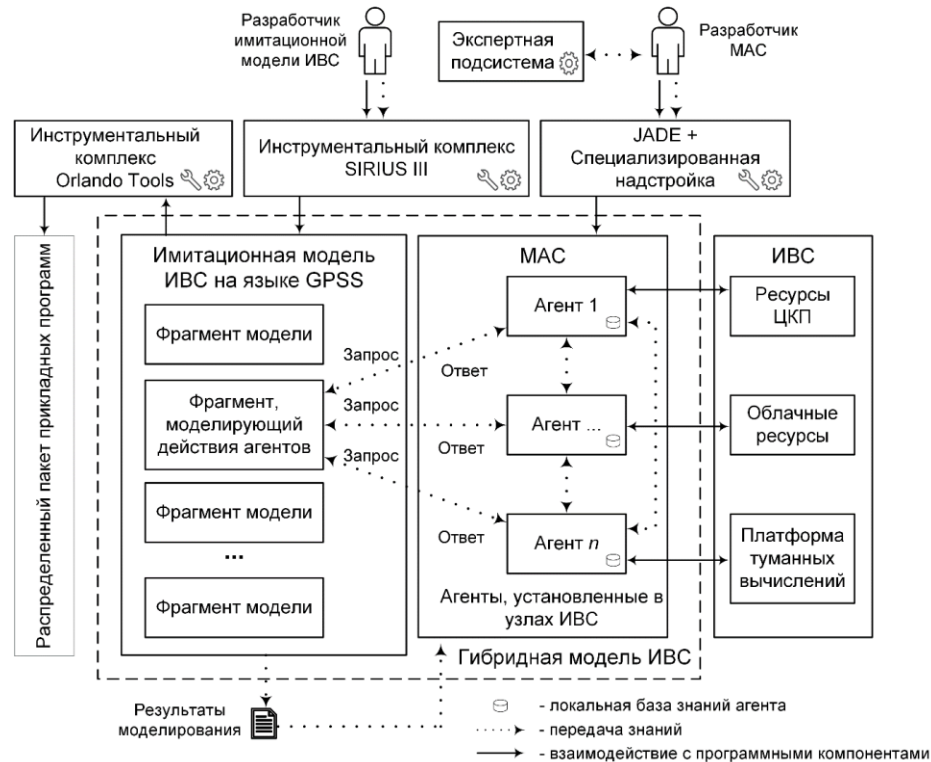


Рис. 13. Среда поддержки принятия решений

Авторы: ак. Бычков И.В., к.т.н. Феоктистов А.Г., к.т.н. Костромин Р.О.,
к.т.н. Горский С.А., к.т.н. Сидоров И.А., к.т.н. Башарина О.Ю.

Наиболее значимые публикации:

1. Kostromin R. Microservice-Based Approach to Simulating Environmentally-Friendly Equipment of Infrastructure Objects Taking into Account Meteorological Data / R. Kostromin, O. Basharina, A. Feoktistov, I. Sidorov // Atmosphere. – 2021. – Vol. 12, № 9: 1217. – P. 1–24. (JCR: IF 2.686, Q3; SJR: IF 0.699, Q2).
2. Feoktistov A., Kostromin R., Gorsky S., Bychkov I., Tchernykh A., Basharina O. Algorithms for Planning on Computational Model with Redundancy and Uncertainty // Programming and Computer Software, 2021. Vol. 47, no. 8. P. 601–614. (JCR: IF 0.936, Q4; SJR: IF 0.291, Q3).

17. Супервизорное управление группой роботов на основе логического вывода и обработки событий

Разработан подход к супервизорному управлению группой роботов на основе логического вывода позитивно-образованных формул (ПОФ). Реализация разработанного подхода как части системы управления изображена на схеме на рис.14. События, происходящие в рабочей среде, распознаются и именуются заранее определенными символами и поступают в подсистему символьной обработки (symbol data processing subsystem).

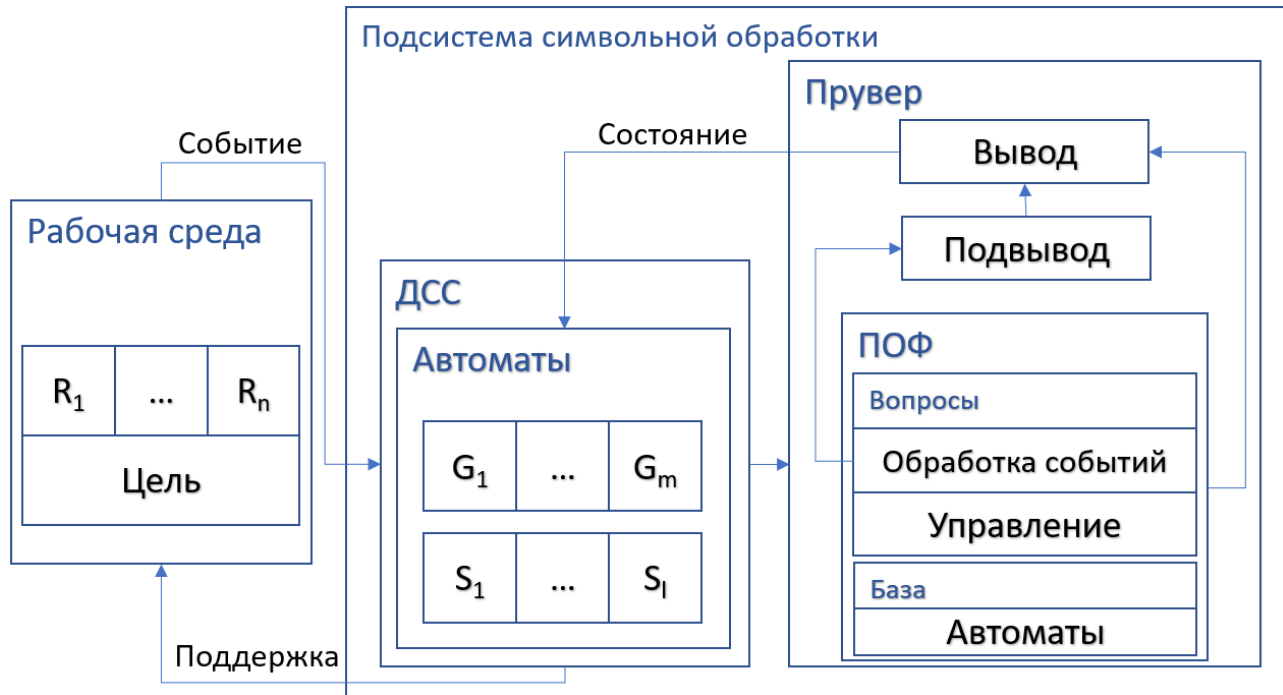


Рис. 14. Схема реализации супервизорного управления с помощью ПОФ как части системы управления группой роботов.

В подсистеме реализуется управление дискретно-событийными системами (ДСС), представляющими собой формализацию задач, решаемых роботами, в виде набора конечных автоматов $G_1, \dots, G_m$, описывающих поведение системы, и автоматов $S_1, \dots, S_l$, описывающих ограничения на функционирование системы. Далее, ДСС представляется в виде ПОФ, вывод которой осуществляет специально разработанная программная система для поиска логических выводов ПОФ - прuver. Автоматы, лежащие в основе ДСС, представлены логическими атомами в базе фактов ПОФ. Логические правила, называемые в ПОФ вопросами, осуществляют генерацию следующего состояния на основе событий с учетом заданных ограничений, реализуя таким образом супервизорное управление. Преимуществом разрабатываемого подхода является возможность дополнительной обработки и контроля событий на основе данных об окружающей среде в реальном времени. За это отвечают специальные логические правила, представленные в ПОФ в виде вопросов обработки событий, при выводе которых существует возможность запуска подвыводов. В таких подвыводах поступающие из рабочей среды события являются параметрами, на основе которых производятся вычисления или иная обработка информации.

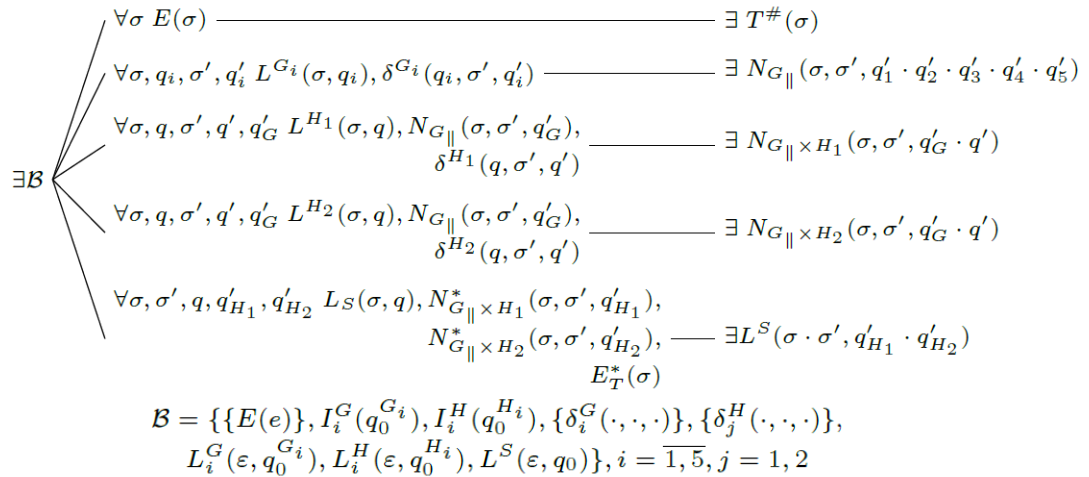


Рис. 15. Пример реализации супервизорного управления для ДСС, представленной набором из пяти конечных автоматов и двух спецификаций

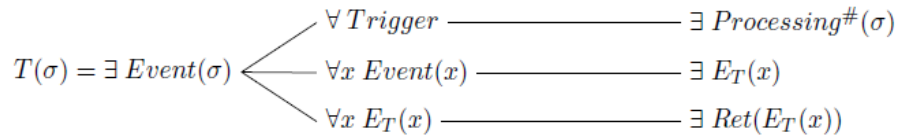


Рис. 16. Общий вид подформулы, реализующей обработку события на основе информации о внешней среде или иных данных

Авторы: Давыдов А.В., Ларионов А.А., к.ф.-м.н. Нагул Н.В.

18. Первые интегралы и устойчивость стационарных движений гиростата

Найдены необходимые и достаточные условия, дающие полное описание момента потенциальных, гироскопических и циркулярно-гироскопических сил, действующих на гиростат, гарантирующего наличие определенного вида первых интегралов типа энергии и площадей. Получены дополнительные новые интегралы для ряда ситуаций, являющихся аналогами классических случаев для тяжелого твердого тела (случай полной динамической симметрии, случай Гесса и т.д.). Выявлен ряд стационарных движений и с использованием известных и новых интегралов методом интегральных связей Четаева получены условия их устойчивости по Ляпунову.

Авторы: к.ф.-м.н. Косов А.А., к.ф.-м.н. Семенов Э.И.

Публикации по результату:

1. Kosov A.A., Semenov E.I. On first integrals and stability of stationary motions of gyrostat // Physica D: Nonlinear Phenomena. – 2022. – Vol. 430. (Web of Science Q1).

19. Методы локального и глобального поисков для задачи k-means (к-средних)

Исследована так называемая задача о k-средних, являющаяся одной из базовых и наиболее популярных моделей кластеризации. Задача относится к моделям кластеризации, основанным на поиске центров кластеров (center-based clustering) и представляет собой невыпуклую оптимизационную задачу. Один из наиболее известных современных



алгоритмов кластеризации, алгоритм поиска k -средних, в общем случае является только лишь алгоритмом локального поиска в указанной задаче кластеризации. Для задачи о k -средних предложена новая формулировка в виде задачи минимизации d.c. функции (т.е. представимой в виде разности двух выпуклых функций) над пересечением m канонических симплексов, где m – заданное число элементов данных, которые необходимо разбить на кластеры. Для этой задачи разработан алгоритм поиска решений, основанный на Теории глобального поиска А.С. Стрекаловского. Проведено тестирование разработанного алгоритма кластеризации, а также его сравнение с наиболее популярными вариантами реализации алгоритма k -средних: алгоритмом Ллойда и k -means++. Разработанный алгоритм во многих случаях позволил найти лучшие разбиения на кластеры в сравнении с указанными популярными алгоритмами, что подтверждено с помощью, так называемых внешних оценок качества кластеризации.



Рис 17. Пример кластеризации изображений лиц (изображения из разных кластеров помечены рамками разных цветов)

Авторы результата: к.ф.-м.н. Груздева Т.В., к.ф.-м.н. Ушаков А.В.

Публикации по результату:

1. Gruzdeva T.V., Ushakov A.V. K-Means Clustering via a Nonconvex Optimization Approach // Lecture Notes in Computer Science: 20th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research, MOTOR 2021 (Irkutsk, 5-10 July 2021). 2021. Vol. 12755. pp. 462-476. DOI: 10.1007/978-3-030-77876-7_31. (Web of Science Q4)
2. Gruzdeva T.V., Ushakov A. V. A Computational Study of the DC Minimization Global Optimality Conditions Applied to K-Means Clustering / N.N. Olenov et al. (Eds.) // Lecture Notes in Computer Science: OPTIMA 2021. 2021. Vol. 13078. pp. 79-93. DOI: 10.1007/978-3-030-91059-4_6. (Web of Science Q4)



20. Новые алгоритмы псевдобулевой оптимизации, комбинирующие эволюционные стратегии и принцип склеивания переменных.

Разработаны новые алгоритмы псевдобулевой оптимизации, комбинирующие принцип склеивания переменных (merging variables principle) и эволюционную стратегию (1+1)-ЕА. Основная новизна разработанных алгоритмов составляет новый оператор мутации булевого вектора, координаты которого разбиваются на подмножества по схеме, используемой в алгоритмах, базирующихся на принципе склеивания переменных. Более точно, множество координат булевого вектора разбивается на подмножества и к каждому полученному набору применяется стандартный оператор (1+1) мутации. Осуществляемый так переход от произвольного вектора $\alpha \in \{0,1\}^n$ к вектору $\alpha' \in \{0,1\}^n$ получил название (1+1)-MVEA мутации ((1+1)-Merging Variables Evolutionary Algorithm). Показано, что мат. ожидание числа перевернутых бит в результате одной (1+1)-MVEA мутации есть 1 и, таким образом, сохраняется важное базовое свойство (1+1)-Evolutionary Algorithm. С другой стороны, показано, что верхняя оценка сложности нового алгоритма есть $n^{\left(\frac{1}{d-1}+o(1)\right)}$ для некоторой константы $d \in \mathbb{R}^+, d > 2$, что асимптотически лучше аналогичной оценки n^n для «классического» (1+1)-ЕА.

На основании теоретических результатов, относящихся к (1+1)-MVEA, была написана программа для решения задачи MaxSAT посредством данного алгоритма. Эффективность этой программы демонстрируется на следующих графиках (решается задача обращения криптографической хеш-функции SHA-256 с ограничением на число нулевых старших бит хеша через сведение этой задачи к MaxSAT).

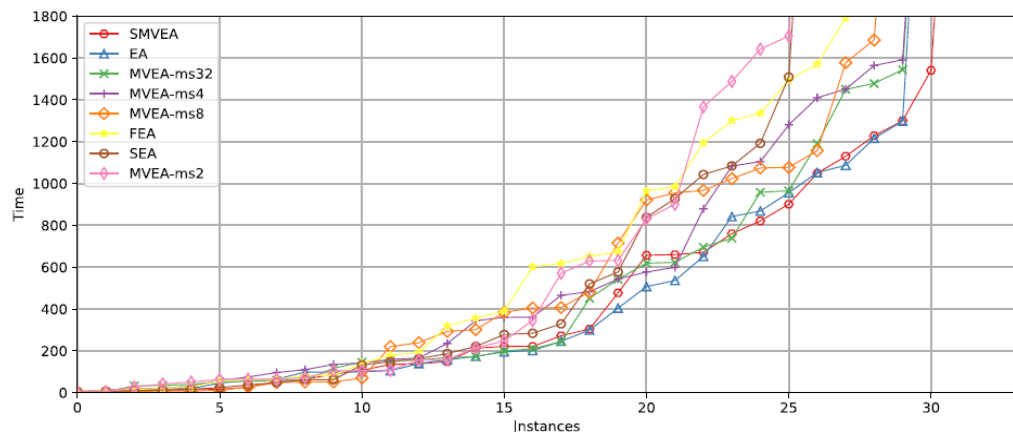


Рис. 17. The results of experiments for SHA-256

Авторы: к.т.н. Семёнов А.А., к.т.н. Отпущенников И.В., Антонов К.В.

Публикации по результату:

1. Semenov A., Otpuschennikov I., Antonov K. On Some Variants of the Merging Variables Based (1+1)-Evolutionary Algorithm with Application to MaxSAT Problem. In Proceedings of MOTOR 2021 Conference. LNCS, vol. 12755. Pp. 111-124.



ПРОЕКТЫ В РАМКАХ ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РФ

В соответствии с Планом НИР и Государственным заданием на 2021 год выполнялись исследования по 6 научным (базовым) темам в рамках двух приоритетных направлений и программ фундаментальных научных исследований РФ на 2021–2025 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

Рассматривается управляемая линейная система ДАУ с бесконечно-дифференцируемыми коэффициентами. Известно, что решение такой системы в классе обобщенных функций типа Соболева-Шварца представимо в виде суммы регулярной обобщенной функции и линейной комбинации дельта-функции и ее производных. Для систем произвольно высокого индекса неразрешенности с матрицей при производной постоянного ранга получены необходимые и достаточные условия существования позиционного управления такого, что решение замкнутой системы не содержит сингулярных обобщенных функций. Показано, что эти условия равносильны наличию у системы свойства импульсной управляемости (*автор: д.ф.-м.н. А.А. Щеглова*).

Аналогичная задача решена для систем с матрицами коэффициентов переменного ранга. Управление, исключаяющее импульсные слагаемые в решении ДАУ, строится в виде линейной комбинации компонент вектор-функции состояния системы и ее производной. Получены достаточные условия существования такого управления и указаны способы его построения. Первый подход основан на приведении системы к так называемой расщепленной структурной форме. Другой способ построения искомой обратной связи опирается на использование свойств линейного дифференциального оператора, действие которого переводит рассматриваемую систему в ДАУ с разделенными дифференциальной и алгебраической подсистемами. В частности, искомое управление построено для системы, оператор которой имеет нулевое ядро. Преимуществом второго подхода является его конструктивность (*автор: д.ф.-м.н. А.А. Щеглова*).

Выделен новый класс нелинейных систем интегро-алгебраических уравнений первого рода, связанный с задачей автоматического управления техническими объектами с векторными входами и выходами. Для таких систем даны достаточные условия существования единственного достаточно гладкого решения (*авторы: д.ф.-м.н. М.В. Булатов, Солодуша С.В.*).

На основе теории матричных пучков проанализированы условия существования и единственности решения вырожденных интегро-дифференциальных уравнений со слабой



особенностью в ядре и предложен численный метод их решения (*авторы: к.ф.-м.н. Чистякова Е.В., к.ф.-м.н. Л.С. Соловарова, Сон Т.Д.*).

Предложены и обоснованы k -шаговые методы решения систем интегральных уравнений типа Вольтерра первого и второго рода со слабой степенной особенностью ядер в нижнем пределе интегрирования. Предлагаемые методы основаны на экстраполяционных формулах для главной части, многошаговых методах типа Адамса и формуле интегрирования произведений для интегрального члена (*авторы: д.ф.-м.н. М.В. Булатов., О.С. Будникова, М.Н. Ботроева, С.С. Орлов*).

Сформулировано формальное определение особой точки для линейных ДАУ произвольного порядка. Предложена классификация особых точек, получены критерии их наличия (отсутствия) на отрезке интегрирования (*авторы: д.ф.-м.н. В.Ф. Чистяков, к.ф.-м.н. Е.В. Чистякова*).

Для численного решения линейных ДАУ первого порядка с особыми точками на отрезке интегрирования разработан вариант метода наименьших квадратов; предварительные численные эксперименты на модельных примерах подтвердили его работоспособность в решении такого рода задач (*авторы: д.ф.-м.н. В.Ф. Чистяков, к.ф.-м.н. Е.В. Чистякова*).

Рассмотрена нестационарная гибридная (дискретно-непрерывная) система, неразрешенная относительно производной непрерывной составляющей искомой функции. Анализ работы существенным образом опирается на методику исследования вырожденных систем обыкновенных дифференциальных уравнений и проводится в предположении существования эквивалентной структурной формы. Данная структурная форма эквивалентна исходной системе в смысле совпадения множеств решений, а преобразующий к ней оператор обладает левым обратным. Построение структурной формы носит конструктивный характер и не использует замену переменных, при этом автоматически решается проблема согласования начальных данных. Получены необходимые и достаточные условия полной и R -управляемости (управляемости в пределах множества достижимости) (*автор: к.ф.-м.н. П.С. Петренко*).

Рассмотрены линейные многомерные дифференциально-алгебраические системы уравнений первого порядка, содержащие гиперболические и параболические уравнения. Для численного решения таких систем применен сплайн-коллокационный метод с аппроксимацией искомого вектора сплайном произвольного порядка по каждой независимой переменной. Разработана программа на языке Си++, реализующая вычисления для двумерных и трехмерных (по пространству) систем. Доказано, что сплайн-коллокационная разностная схема устойчива только для систем, матричные коэффициенты которых при производных имеют диагональную структуру. Выполнен сравнительный анализ сплайн-коллокационной разностной схемы и четырехточечной локально-одномерной схемы. Показано, что сплайн-коллокационная разностная схема является трудоемкой для многомерных систем и по скорости и объему вычислений значительно уступает четырехточечной локально-одномерной разностной схеме. В конечномерном гильбертовом пространстве сеточных вектор-функций доказана устойчивость четырехточечной локально-



одномерной разностной схемы, записанной для многомерных систем, допускающих расщепление на одномерные дифференциально-алгебраические системы индекса (1,1) (автор: к.ф.-м.н. С.В. Свинина).

Рассмотрена управляемая система нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных с невыпуклым и зависящим от фазовых переменных ограничением на управление. Данная система моделирует динамику популяций в рамках процесса типа «хищник-жертва-пища для жертвы» с учетом диффузионных и гистерезисных эффектов, возникающих в процессе. Доказано существование решения системы и установлено, что решения системы близки в определенном смысле к решениям соответствующей системы с выпуклым ограничением на управление (автор: к.ф.-м.н. С.А. Тимошин).

Рассмотрена система уравнений в частных производных, описывающая модель фазовых переходов с ограничением на фракцию фазы, зависящим от относительной температуры. Система состоит из уравнения баланса энергии с нелинейным источником тепла и уравнения фазовой динамики, учитывающего гистерезисный характер процесса. Доказано существование периодического решения для данной системы при минимально возможных требованиях на кривые, определяющие область гистерезиса (автор: к.ф.-м.н. С.А. Тимошин).

На пространстве непрерывных функций из отрезка числовой прямой со значениями в рефлексивном банаховом пространстве рассматривается оператор, значениями которого являются замкнутые выпуклые подмножества этого пространства. Когда значениями оператора являются одноточечные множества, он превращается в хорошо известный однозначный оператор с наследственностью. Изучаются свойства этого оператора. Доказывается теорема о неподвижной точке, являющаяся аналогом теоремы о неподвижной точке для однозначного оператора с наследственностью. Приводятся примеры. Полученные результаты используются для изучения неразрешенных относительно производных эволюционных включений с максимально монотонными операторами и с возмущениями в гильбертовом пространстве. Этими возмущениями являются однозначные и многозначные операторы с наследственностью (автор: чл.-к. РАН А.А. Толстоногов).

В сепарабельном гильбертовом пространстве рассматривается семейство максимально монотонных операторов с областями определения, зависящими на отрезке числовой прямой от времени. Рассматривается также пространство интегрируемых с квадратом функций, определенных на этом отрезке, со значениями в указанном гильбертовом пространстве. Исходя из семейства максимально монотонных операторов, на пространстве интегрируемых с квадратом функций строится оператор суперпозиции — оператор Немыцкого. При достаточно общих предположениях доказывается максимальная монотонность оператора Немыцкого. Дается конкретизация этого результата применительно: к семейству максимально монотонных операторов, наделенных псевдорасстоянием по А. А. Владимирову; к семейству субдифференциальных операторов, порожденных собственной выпуклой зависящей от времени полунепрерывной снизу функцией; к семейству нормальных конусов движущегося выпуклого замкнутого множества (автор: чл.-к. РАН А.А. Толстоногов).



В сепарабельном гильбертовом пространстве рассматривался измеримый процесс выметания со смешанным возмущением при следующих предположениях. Движущееся множество, генерирующее процесс, является замкнутым и выпуклым, а ретракция процесса выметания ограничена некоторой положительной мерой Радона. Рассматривалось возмущение, представленное в виде суммы двух многозначных отображений. Значения первого из них - замкнутые, ограниченные, не обязательно выпуклые множества. Само многозначное отображение удовлетворяет стандартному условию роста, измеримо по временной и липшицево по пространственной переменной. Значения второго многозначного отображения являются замкнутыми, выпуклыми, не обязательно ограниченными множествами. Само это отображение имеет замкнутый по фазовой переменной график. Оставшиеся условия связаны со свойствами пересечения второго отображения и многозначного отображения, определенного условиями роста. Предполагается, что это пересечение имеет измеримый селектор с определенными свойствами компактности. Было доказано существование решения такого включения. Доказательство основано на принадлежащей автору теореме о непрерывных по параметру селекторах, проходящих через неподвижные точки сжимающих многозначных отображений с замкнутыми, невыпуклыми, разложимыми значениями, а также на классической теореме Ки-Фана (*автор: чл.-к. РАН А.А. Толстоногов*).

В сепарабельном гильбертовом пространстве рассматривалось эволюционное включение, правая часть которого содержит зависящий от времени максимально монотонный оператор и многозначное отображение с замкнутыми невыпуклыми значениями. Зависимость максимально монотонного оператора от времени описывается с помощью расстояния между максимально монотонными операторами по Владимирову. Это расстояние, как функция времени, имеет ограниченную вариацию с верхней границей, задаваемой неатомической положительной мерой Радона. Под решением включения понимается непрерывная функция ограниченной вариации, чья обобщенная производная (мера Стильеса) абсолютно непрерывна относительно упомянутой выше положительной меры Радона, а значения соответствующей функции плотности принадлежат правой части включения почти всюду. При традиционных предположениях о возмущении (измеримость, липшицевость по фазовой переменной в метрике Хаусдорфа, условие подлинейного роста) доказано существование решений, а также установлены некоторые свойства множества решений (*автор: чл.-к. РАН А.А. Толстоногов*).

В сепарабельном гильбертовом пространстве рассматривается выпуклый процесс выметания. В большинстве работ, посвященных процессам выметания для описания движения выпуклого множества, генерирующего процесс, используется метрика Хаусдорфа. Однако для неограниченных множеств использование этой метрики не всегда гарантирует выполнение условий существования решений. В связи с этим нами было предложено использовать вместо метрики Хаусдорфа ρ -полуотклонения множеств. Эти полуотклонения подчинены положительной мере Радона, зависящей от ρ . Доказано существование непрерывных справа BV решений и изучена их зависимость от зависящего от времени возмущения. Полученные результаты использованы для доказательства теорем



существования и релаксации для экстремальных непрерывных справа BV решений процесса выметания с многозначным возмущением. Как следствия получены некоторые результаты, касающиеся абсолютно непрерывных решений (*автор: чл.-к. РАН А.А. Толстоногов*).

Изучается параметрическое семейство нелокальных уравнений баланса в пространстве знакопеременных мер. В предположениях, охватывающих ряд известных содержательных моделей, доказана теорема о существовании, единственности и непрерывной зависимости решения от параметра и начального распределения. Обсуждаются некоторые следствия данной теоремы, полезные для теории управления, в том числе предел в среднем поле системы обыкновенных дифференциальных уравнений, существование оптимального управления ансамблем траекторий, формула Троттера для произведения полугрупп соответствующих операторов, а также существование решения дифференциального включения в пространстве знакопеременных мер (*автор: к.ф.-м.н. Н.И. Погодаев*).

Для невыпуклой линейно-квадратичной задачи оптимизации в дискретной динамической системе получено необходимое условие оптимальности с позиционными управлениями спуска по функционалу. Вспомогательные позиционные управления, потенциально обеспечивающие улучшение неоптимальных управлений, порождаются квадратичными мажорантами целевой функции, обладающими свойством слабого убывания, т.е. для каждой из них существует хотя бы одна траектория динамической системы, вдоль которой мажоранта не возрастает. В отличие от дискретного принципа максимума полученное условие не требует выпуклости задачи (*автор: к.ф.-м.н. С.П. Сорокин*).

Для задачи управления ансамблями траекторий со специального вида терминальным ограничением получен следующий набор результатов: описан класс решений динамических систем в пространствах мер с позиционными воздействиями, зависящими от меры-состояния по типу конструктивных движений Красовского-Субботина; разработан итеративный метод приближенного решения задачи, использующий структуру известного, опорного решения (*авторы: к.ф.-м.н. Е.В. Гончарова, к.ф.-м.н. Н.И. Погодаев, к.ф.-м.н. М.В. Старицын*).

Поставлена и изучена задача оптимального управления бесконечным ансамблем траекторий с квадратичными импульсными воздействиями. Подобные модели возникают при описании «гиперимпульсных» вибраций в механических системах с активными фазовыми ограничениями при наличии неопределенности и/или возмущений вероятностного типа. Исследуемая экстремальная задача сводится к проблеме управления локальным уравнением неразрывности в пространстве вероятностных мер со специального вида импульсной характеристической системой, допускающей разрывные решения ограниченной вариации. Для последней, с помощью разрывной замены времени и мер Янга получено новое «пространственно-временное» представление в форме линейной по управлению обыкновенной управляемой системы. Доказано существование решения результирующей задачи оптимального импульсного управления (*автор: к.ф.-м.н. Е.В. Гончарова*).

Разработаны методики численного решения для задачи аппроксимации управляемой системы с постоянным запаздыванием, в рамках которой предложена технология редукции управляемой системы с постоянным запаздыванием к задаче оптимального управления для



системы в нормальной форме Коши, основанная на «методе шагов». Технология предполагает «вертикальную разверстку» системы: для каждого временного шага формулируется свой экземпляр системы без отклонения аргумента, число которых соответствует числу шагов в исходной системе с запаздыванием. Координация подсистем, соответствующих различным шагам, выполняется путем формирования точечных условий на траектории, позволяющих «склеить» конечный фазовый вектор предыдущей системы с начальным фазовым вектором последующей. Для численного решения сформированной задачи оптимального управления используется программный комплекс OPTCON.

В качестве примера рассмотрена модификация управляемой системы для задачи стабилизации нелинейного маятника:

$$\dot{x}_1(t) = x_2(t), \dot{x}_2(t) = -\sin(x_1(t - \tau)), \\ \tau = 3, t \in [0, 9].$$

Управление системой выполняется путем вариации начального условия для x_1 :

$$x_1(t) = u(t), t \in [-3, 0]. \quad x_1(0) = 5, x_2(0) = 0.$$

Целью управления, как и в исходной модельной задаче, является финишная стабилизация системы: $\min(x_1^2(9) + x_2^2(9))$. Достигнутое в результате оптимизации значение целевого функционала 12.3678. Траектории найденного решения приведены рис. 18-23, управление – на рис. 24.

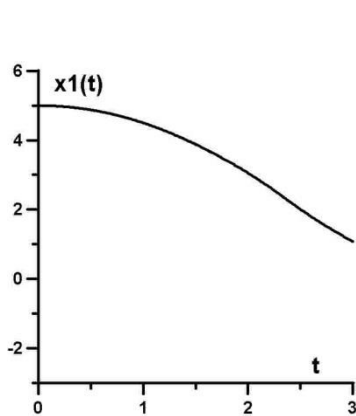


Рис. 18. $x_1(t), t \in [0, 3]$

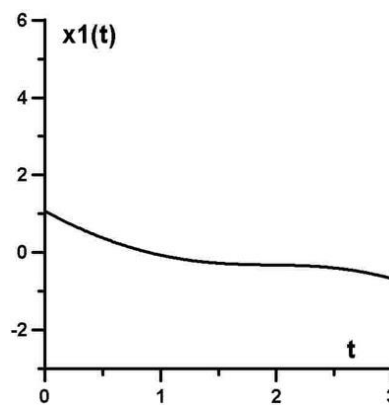


Рис. 19. $x_1(t), t \in [3, 6]$

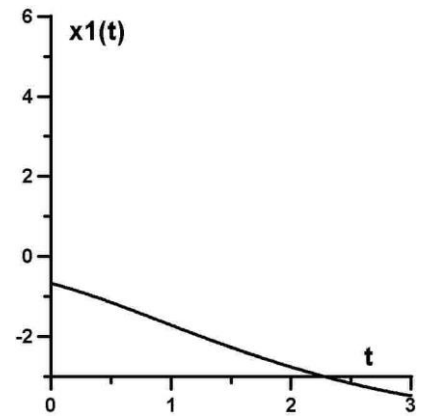


Рис. 20. $x_1(t), t \in [6, 9]$

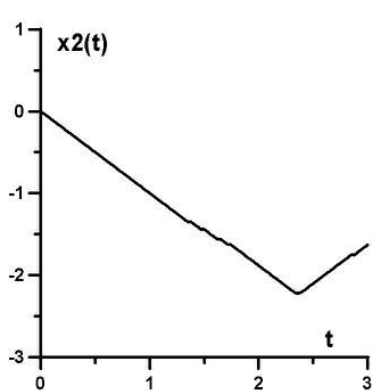


Рис. 21. $x_2(t)$, $t \in [0, 3]$

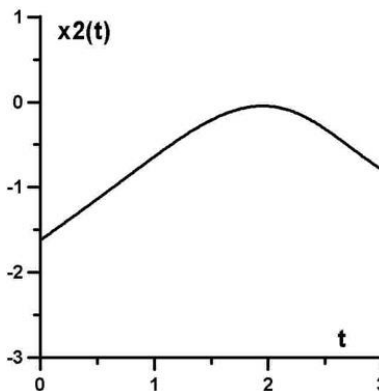


Рис. 22. $x_2(t)$, $t \in [3, 6]$

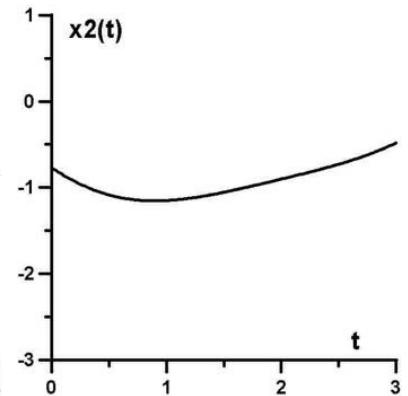


Рис. 23. $x_2(t)$, $t \in [6, 9]$

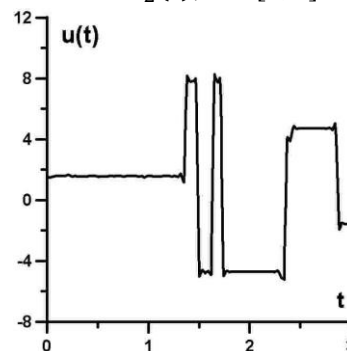


Рис. 24. Управление $u(t)$, $t \in [-3, 0]$

На графиках 18–20 представлены оптимальные компоненты траектории, полученные для трех экземпляров системы, соответствующих трем временным этапам (авторы: к.т.н. Зароднюк Т.С., д.т.н. Горнов А.Ю., д.т.н. Тятюшкин А.И.).

Разработаны многометодные алгоритмы для решения сложных прикладных задач оптимального управления, описываемых системой обыкновенных дифференциальных уравнений, в правые части которых входят как управляющие функции, так и параметры (автор: д.т.н. Тятюшкин А.И.).

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

Рассмотрена алгебра параграссмановых чисел, имеющая порядок $p = 2$ и находящаяся в инволюции. В данной алгебре на основе парафермионных когерентных состояний введено некоммутативное, ассоциативное произведение звёздочка $*$ (произведение Мойла), которое является прямым обобщением аналогичного понятия в алгебре грассмановых чисел, имеющей порядок $p = 1$. Произведение такого типа возникает естественным образом при вычислении матричных элементов сложных операторных выражений в базисе парафермионных когерентных состояний.



Рассмотрена также алгебра операторов рождения и уничтожения, подчиняющихся параферми-статистике того же порядка $p = 2$. Эти операторы удовлетворяют системе трилинейных соотношений параферми-алгебра. В частном случае, когда $N = 2$ доказано следующее

Утверждение. Алгебра операторов рождения и уничтожения, подчиняющихся параферми-статистике порядка $p = 2$, уравнение (2), и алгебра параграссмановых чисел того же порядка (1), снабжённая произведением Мойла, являются изоморфными. Было проведено обсуждение

возможности обобщения полученного результата на случай, когда $N = 3$ и/или когда параграссманова и параферми алгебры имеют порядок $p = 3$. Показано, что в силу громоздкости вычислений прямой подход при доказательстве изоморфизма двух алгебр, использованный в работе, становится неэффективным при $N \geq 3$ и/или $p \geq 3$, что требует развития качественно иного подхода (авторы: д.ф.-м.н. Ю.А. Марков, д.ф.-м.н. М.А. Маркова).

В рамках формализма Баба-Мадхаварао предложен самосогласованный подход к получению системы волновых уравнений четвертого порядка для описания массивных частиц со спином $3/2$. Для этой цели вводится новый набор матриц вместо исходных матриц алгебры Баба-Мадхаварао. Показано, что в терминах новых матриц процедуру построения корня четвертой степени из волнового оператора четвертого порядка можно свести к некоторым простым алгебраическим преобразованиям и операции перехода к пределу при $z \rightarrow q$, где z – комплексный параметр деформации и q – примитивный корень четвертой степени из единицы, входящий в определение η -матриц. Проведено соответствующее обобщение полученных результатов на случай взаимодействия с внешним электромагнитным полем, введенным посредством минимальной подстановки. Обсуждается соответствующее приложение полученных результатов к задаче построения представления интеграла по траекториям в парасуперпространстве для пропагатора массивной частицы со спином $3/2$ во внешнем калибровочном поле в рамках подхода Баба-Мадхаварао (авторы: д.ф.-м.н. Ю.А. Марков, д.ф.-м.н. М.А. Маркова, А.И. Бондаренко).

Построено кинетическое уравнение больцмановского типа, описывающее процесс упругого рассеяния плазмонов на плазмонах в кварк-глюонной плазме и эффект так называемого нелинейного затухания Ландау для мягких ферми-возбуждений. Проведено сравнение эффективной амплитуды плазмин-плазминного взаимодействия, найденной в рамках классической гамильтоновой теории, с соответствующим матричным элементом, вычисленным в рамках высокотемпературной квантовой хромодинамики, в приближении так называемых жестких температурных петель. Это позволяет определить явный вид вершинных и коэффициентных функций в эффективных амплитудах и в канонических преобразованиях (авторы: д.ф.-м.н. Ю.А. Марков, д.ф.-м.н. М.А. Маркова, Н.Ю. Марков).

В рамках базового проекта исследованы нелинейные параболические системы с вырождением, описывающие процессы диффузии, конвекции, теплопроводности, популяционной динамики. В ходе исследований получены следующие результаты: доказаны теоремы существования и единственности кусочно-аналитических решений типа



диффузионных (тепловых) волн. Решения построены в виде сходящихся степенных рядов, получены формулы для их коэффициентов. Построены точные решения типа диффузионных волн с различными фронтами в случаях плоской, цилиндрической и сферической симметрии, построение сводится к интегрированию задач Коши для систем обыкновенных дифференциальных уравнений, которые наследуют вырождение исходных уравнений. Разработана и реализована методика верификации численных расчетов, выполненных на основе метода граничных элементов, с помощью отрезков рядов и точных решений (*авторы: д.ф.-м.н., А.Л. Казаков, к.ф.-м.н. П.А. Кузнецов*).

В рамках базового проекта оценено влияние обмена аксиально-векторным мезоном на извлечение протонных электромагнитных форм-факторов. В качестве примера проведены оценки с обменом $f_1(1285)$ мезоном, показано, как он влияет на методы Розенблута и передачи поляризации. Вклад аксиально-векторного мезона незначителен по сравнению с традиционным двухфотонным обменом и не может быть причиной различий в форм-факторах, извлеченных различными методами (*автор: к.ф.-м.н. А.Е. Раджабов*).

Рассмотрен счетный класс обыкновенных дискретных уравнений, возникающих как ограничения, совместные с цепочкой Вольтерра (эволюционное дифференциально-разностное уравнение, имеющее применение в физике плазмы). Доказана теорема о совместности уравнений в этом классе. Также доказана аналогичная теорема о совместности счетного класса билинейных уравнений, тесно связанного с исходными уравнениями подстановкой и имеющего приложения в теории кластерных алгебр. Для этих уравнений найдены решения, выражающиеся в терминах последовательностей, порождаемых линейным рекуррентным соотношением второго порядка. В качестве простейшего примера можно привести последовательность чисел Фибоначчи (*автор: к.ф.-м.н. А.К. Свинин*).

Исследована система двух нелинейных гиперболических уравнений в частных производных четвертого порядка, правые части которой содержат двукратные операторы Лапласа и квадраты градиентов искоемых функций. Такого рода уравнения, близкие к уравнению Буссинеска и уравнениям Навье-Стокса, встречаются в задачах гидродинамики. Для построения точных решений указанной системы уравнений был предложен анзац специального вида, содержащий квадратичную зависимость от пространственных переменных и произвольные функции от времени. Использование предложенного анзаца позволило декомпозировать процесс отыскания компонент решения, зависящих от пространственных переменных и времени.

Отыскание зависимости от пространственных переменных свелось к алгебраической системе матричных, векторных и скалярного уравнений. Найдено общее решение этой системы уравнений в параметрическом виде. При отыскании компонент решения исходной системы, зависящих от времени, возникает система нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений. В частном случае, когда квадраты градиентов не входят в систему, установлено существование точных решений определённого вида у исходной системы, выражаемых через произвольные гармонические функции от пространственных переменных и экспоненциальные функции времени. Приводится ряд примеров построенных точных решений, в том числе периодических по времени и анизотропных по



пространственным переменным. Найденные точные решения можно использовать для верификации численных методов приближённого построения решений прикладных краевых задач (автор: к.ф.-м.н. Э.И. Семенов).

Рассмотрены тензорные петлевые интегралы для процесса рассеяния 2 в 2. Получены аналитические формулы для записи данных интегралов через функции Пасарино-Вельтмана. Главной составляющей результата является вывод аналитических выражений для угловых интегралов процесса рассеяния 2 в 3 вплоть до случая наличия 2-х массивных пропагаторов, который не был рассмотрен ранее в применяемом подходе. Полученный результат развивает идеи, предложенные в работе Gabor Somogyi (J. Math. Phys. 52 (2011) 083501). При этом метод редукции произведения двух и более массивных пропагаторов позволяет выражать это произведение через сумму с меньшим числом массивных пропагаторов. Это даёт возможность вычислять более сложные классы угловых интегралов, важных для физики частиц.

Полученные выражения позволяют их использовать для большого класса расчетов процессов. В частности, данный результат будет использован для анализа процесса Drell-Yan в порядке α_s^2 константы сильного взаимодействия и анализа поведения при малом поперечном импульсе векторного бозона, распадающегося на лептонную пару (автор: к.ф.-м.н. А.С. Жевлаков).

В рамках базового проекта проводится исследование качественных и количественных свойств численных методов решения уравнения осцилляции нейтрино в среде. Подбираются способы качественной и количественной оценки методов численного решения в отсутствие точного решения, а также сильно осциллирующего решения. Проверяется возможность расширения области сходимости разложения Магнуса для уравнения осцилляций в связи с использованием численного интегрирования и вариации шагов в промежуточных вычислениях. Также в рамках базового проекта ведётся исследование алгебраической структуры задачи смешивания фермионов с разными физическими характеристиками (разной чётности). В данном направлении получил своё дальнейшее развитие подход на основе спектрального разложения. Это позволило получить матричную форму полного пропагатора системы фермионов, что существенно упрощает анализ задач смешивания и «одевания» матрицы смешивания нейтрино. На простом примере было показано, что учёт полного пропагатора для смешивающихся фермионов не оказывает влияния на параметры смешивания в физических ситуациях (автор: к.ф.-м.н. В.П. Ломов).

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.т.н. Э.И. Дружинин

Предложена новая технология расчета законов программных управлений космическими аппаратами (КА), основанная на идее изоляции неразгруженным



кинетического момента (НKM) КА после его разгрузки и расстыковки аппарата с разгонным блоком. Первый шаг в разработке этой технологии, использующей изоляцию НКМ КА, был сделан в статье, опубликованной автором в ДАН в 2017 году. В ней вычисление законов управлений, не содержащих сингулярных состояний гиродинов было обосновано только для перманентных вращений КА вокруг центра масс (ц.м.). В настоящей работе подобная технология реализована без ограничений на законы вращения КА. Обеспечение используемой изоляции достигается включением в состав оборудования КА 3-х степенного изолирующего гироскопа (ЗСИГ) и перекачкой всего НКМ в его ротор. Новый метод расчета, используя изоляцию НКМ КА, впервые позволил вычислять законы управления КА, не содержащие сингулярных состояний гиродинов без ограничений на законы вращения аппарата. А это позволило исполнять рабочие процессы в заданное время (*автор: д.т.н. Э.И. Дружинин*).

Для динамически сбалансированного орбитального телескопа получено одношаговое решение задачи расчета программного управления, не содержащего сингулярных состояний гиродинов и, как следствие, гарантирующего безостановочное исполнение его гиродинами. Как результат рабочие режимы наведения и сканирования телескопом заданной области могут осуществляться высокоточно по времени и состоянию в устойчивом прецессионном вращении оптической оси телескопа. Полученные необходимые и достаточные условия устойчивости совпадают с точностью до границы (*автор: д.т.н. Э.И. Дружинин*).

В терминах тензорного произведения вещественных гильбертовых пространств получены необходимые и достаточные условия существования дифференциальной реализации поведения непрерывной бесконечномерной динамической системы в классе управляемых билинейных нестационарных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка с запаздыванием в сепарабельном гильбертовом пространстве. Попутно обоснованы тополого-метрические условия непрерывности проективизации нелинейного функционального оператора Релея–Ритца с вычислением фундаментальной группы его образа. Полученные результаты дают побудительные мотивы для развития качественной теории нелинейной структурной идентификации полилинейных дифференциальных моделей высших порядков (*авторы: д.ф.-м.н. А.В. Лакеев, д.ф.-м.н. В.А. Русанов*).

Исследована разрешимость задачи реализации оператор-функций инвариантного полилинейного регулятора (IPL-регулятора) нестационарной дифференциальной системы (D-системы) второго порядка, позволяющего для двух пучков динамических процессов типа «траектория, управление» и индуцированных в этой D-системе двумя разными полилинейными регуляторами, объединить, через действие IPL-регулятора, эти пучки в подсемейство допустимых решений данной D-системы. Рассматриваемая задача относится к типу нестационарных коэффициентно-операторных обратных задач для эволюционных уравнений, в том числе гиперболических, в сепарабельном гильбертовом пространстве и решается на основе качественного изучения свойств непрерывности и полуаддитивности функционального оператора Релея–Ритца. Полученные результаты имеют приложения в теории нелинейных бесконечномерных адаптивных динамических систем для класса полилинейных дифференциальных моделей высших порядков (*авторы: д.ф.-м.н. А.В. Лакеев, д.ф.-м.н. В.А. Русанов*).



Для нейроморфных процессов, заданных поведением локальной нейропопуляции (например, процессами, индуцированными интерфейс-платформой «мозг-машина» типа Neuralink), исследована разрешимость задачи существования дифференциальной реализации этих процессов в классе билинейных нестационарных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка (с запаздыванием) в сепарабельном гильбертовом пространстве. Данная постановка относится к типу обратных задач для аддитивной комбинации нестационарных линейных и билинейных операторов эволюционных уравнений в бесконечномерном гильбертовом пространстве. Метаязыком развиваемой теории служат конструкции тензорных произведений гильбертовых пространств, структуры решеток с ортодополнением, функциональный аппарат нелинейного оператора Релея–Ритца и принцип максимума энтропии. При этом показано, что свойство сублинейности этого оператора, позволяет получить условия для существования таких дифференциальных реализаций; попутно обосновываются метрические условия непрерывности проективизации данного оператора с вычислением фундаментальной группы его компактного образа (*авторы: д.ф.-м.н. А.В. Лакеев, д.ф.-м.н. В.А. Русанов*).

В рамках обратных задач нелинейных эволюционных уравнений для континуального пучка управляемых динамических процессов в бесконечномерном сепарабельном гильбертовом пространстве проведено функционально-геометрическое изучение необходимых и достаточных условий существования шести нестационарных операторных коэффициентов в модели дифференциальной реализации этого траекторного пучка в классе неавтономных дифференциальных уравнений второго порядка с фиксированной билинейной структурой. Исследован вариант, когда данные операторные коэффициенты обременены дополнительным условием, обеспечивающим вполне непрерывность интегрально-операторной формы представления моделируемой дифференциальной реализации, при этом приведена теоретико-системная интерпретация полученных результатов в энтропийной постановке (*авторы: д.ф.-м.н. А.В. Лакеев, д.ф.-м.н. В.А. Русанов*).

С помощью ранее разработанного на базе пакета компьютерной алгебры Mathematica прикладного программного обеспечения исследована динамика вращательного движения по круговой орбите спутника-гиростата в ньютоновском центральном поле сил. Предполагая неустойчивость потенциальной системы, в пространстве введенных параметров найдены области с четной степенью неустойчивости по Пуанкаре. Рассмотрен вопрос о возможности гироскопической стабилизации неустойчивых относительных положений равновесия гиростата, когда вектор гиросtatического момента системы находится в одной из плоскостей, образуемых главными центральными осями инерции. Результаты исследования получены в символьном (аналитическом) виде на компьютере и путем проведения численного эксперимента с графической интерпретацией (*автор результата: к.ф.-м.н. А.В. Банищikov*).

В задаче о движении твердого тела с неподвижной точкой под действием магнитного поля, порожденного эффектом Барнетта-Лондона, и потенциальных сил найдены новые дополнительные полиномиальные интегралы и инвариантные многообразия (ИМ): при условии динамической симметрии тела – интегралы 2-4-й степени, при отсутствии ограничений на моменты инерции тела – квадратичные интегралы и ИМ, определяемые полиномами 2-3-й степени. Для их нахождения применялись методы компьютерной алгебры.



Проведен качественный анализ уравнений движения тела в случаях существования дополнительных интегралов 2-й и 4-й степени. Найдены стационарные решения, соответствующие перманентным вращениям и положениям равновесия тела, и ИМ. При помощи созданного на основе системы компьютерной алгебры «Mathematica» комплекса программ для стационарных решений получены достаточные условия устойчивости по Ляпунову. В ряде случаев они сопоставлены с необходимыми (авторы: д.ф.-м.н. В.Д. Иртегов, к.т.н. Т.Н. Титоренко).

Более полное изучение свойств механических автономных консервативных систем можно получить при нахождении стационарных движений и исследования их устойчивости. Рассмотрена система, в которой при выполнении равенства Аппельрота существует интеграл Гесса и выделено стационарное движение, имеющее место и без равенства Аппельрота. Вторым методом Ляпунова проведено исследование устойчивости такого стационарного движения. Установлено, что граница области достаточных условий устойчивости не совпадает с границей области необходимых условий устойчивости (автор: д.ф.-м.н. М.А. Новиков).

Предложены методы последовательных улучшений первого и второго порядка для задачи оптимального управления на плавающей сети операторов. Техника вывода алгоритмов основана на теории В.Ф. Кротова. Приведены условия неухудшаемости для метода первого порядка – равенство градиента нулю. Для метода второго порядка приведены условия улучшения, и в случае равенства градиента нулю, но существования особой точки уравнения Риккати, условия неухудшаемости имеют место хотя бы на одном из этапов. Работа алгоритмов проиллюстрирована на тестовых примерах (автор: д.ф.-м.н. В.А. Батулин).



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

Нормальные формы в темпоральных логиках

В целях повышения эффективности исследования и построения дискретно-событийных систем (ДСС), используемых в системах управления мобильными роботами, одним из возможных направлений их логической формализации были выбраны темпоральные логики, которые, как известно, предназначены для описания последовательностей переходов между состояниями реагирующих систем, т.е. в том числе и дискретно-событийных. В темпоральных логиках, рассматриваемых в данном исследовании, время явно не упоминается, вместо этого формулы позволяют записывать утверждения о том, что некоторое выделенное состояние будет когда-нибудь пройдено или никогда не будет достигнуто. Свойства, в которых упоминаются события, происходящие когда-нибудь или никогда, специфицируются при помощи специальных темпоральных операторов.

На данном этапе проекта велись исследования темпоральных логик с точки зрения возможности автоматизации поиска вывода. Согласно выбранному направлению, оказывается целесообразным изучение логики CTL* (в дальнейшем именуемой просто темпоральной логикой), так как она является наиболее общим случаем темпоральных логик и на ее основе можно строить преобразования формул в логики как линейного, так и ветвящегося времени. Иные темпоральные формализмы в данном исследовании интереса не представляют.

Семантика всякой формулы темпоральной логики, как правило, определяется на основе специального размеченного графа переходов, называемого моделью Крипке. Проведено исследование возможности представления моделей Крипке при помощи ПОФ, так как они сами по себе являются некоторыми нормальными формами в первопорядковой логике и позволяют автоматизировать поиск логических выводов. На текущем этапе, данное представление основано на специально разработанной формализации, при которой для конкретной модели Крипке, т.е. для некоторой темпоральной формулы, строится ПОФ, которая позволяет имитировать формализованные с её помощью процессы. Таким образом, полученная ПОФ – это некоторая метаформула, вывод которой позволит устанавливать свойства исходной формулы (*авторы: А.В. Давыдов, А.А. Ларионов, к.ф.-м.н. Н.В. Нагул*).



Эвристический подход к задаче оперативного оповещения динамических распределенных группировок мобильных роботов

Разработан эвристический подход к построению маршрутов для оповещения распределенной робототехнической группировки, которые обеспечивали бы оперативное распространение некоторой ключевой информации от агента-инициатора до всех остальных нестационарных членов группы в условиях ограниченной коммуникации. Предложена оригинальная математическая постановка задачи оповещения, лежащая на стыке задач класса групповой маршрутизации транспортных средств и дискретных мультиагентных моделей, описывающих процессы взаимодействия множества агентов при заданном наборе правил (распространение информации в коммуникационных сетях, распространение инфекций и т.д.). В качестве ключевой особенности предложенной постановки можно выделить тот факт, что каждый робот в группе до своего оповещения рассматривается в качестве нестационарного клиента, требующего своего посещения, а после оповещения - уже в качестве объекта управления (агента, способного изменять свой маршрут).

Для решения задачи предложен подход по эффективному построению маршрута оповещения в виде централизованному группового расписания. Процедура генерации маршрута-расписания осуществляется на базе разработанных проблемно-ориентированных конструктивных эвристик с использованием процедуры окрестностного поиска для их дальнейшего улучшения. Различные конструктивные эвристики в этом случае отвечают за специализированные шаблоны поведения оповещенных агентов при выборе новых целей для дальнейшей передачи ключевой информации.

Произведена программная реализация предложенного подхода в двух модификациях: на дискретном и на непрерывном времени. Для вариации с непрерывным временем также исследовались постановки с однородными и разнородными по скоростям роботами группы. Исследования проводились на сгенерированном наборе тестовых задач, различающихся между собой: размерностью самой задачи; структурой графа, кодирующего карту местности; режимом работы группы при построении первичных траекторий движения (рис. 25) (авторы: М.Ю. Кензин, ак. И.В. Бычков).

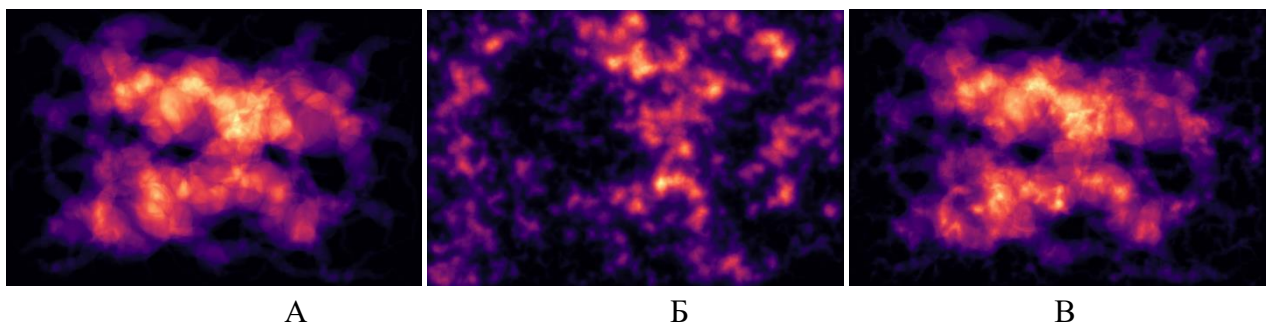


Рис. 25. Тепловая карта, создаваемая движением группы из 100 роботов в режиме:
А - исследования карты; Б - разработки подобластей; В - в смешанном режиме



Решение задачи супервизорного управления частично наблюдаемыми дискретно-событийными системами

Предложен подход к решению задачи супервизорного управления частично наблюдаемыми дискретно-событийными системами (ДСС), основанный на применении метода автоматического доказательства теорем в исчислении позитивно-образованных формул (ПОФ). Разработано представление ДСС, позволяющая посредством ПОФ моделировать работу конечного автомата как генератора формального языка, представляющего описание эволюции системы. В процессе применения правила вывода исчисления ПОФ слова этого языка генерируются как аргументы термов в так называемой базе ПОФ. Разработан алгоритм проверки критического для потенциальной управляемости ДСС свойства наблюдаемости языка спецификации, задающего критерий функционирования ДСС. Формальный язык называется наблюдаемым, если при наличии в системе ненаблюдаемых событий он позволяет однозначно сделать вывод о допустимости генерируемого системой слова. Для проверки свойства наблюдаемости существенно используется процедура параметризованного подвывода и вычисляемые термы. Разработан алгоритм реализации управления для ДСС на основе наблюдаемой спецификации, опирающийся на построение параллельной композиции конечных автоматов с помощью ПОФ. Параллельная композиция строится через произведение автоматов, что в ПОФ-представлении ДСС существенным образом уменьшает вычислительную сложность поиска вывода и повышает его эффективность. На рис. 26 представлена ПОФ, строящая параллельную композицию n конечных автоматов на основе их произведения. Здесь термы вида $\delta(S, \sigma, S)$ соответствуют вспомогательным петлям, добавляемым в конечные автоматы, участвующие в параллельной композиции, для отсутствующих в их алфавитах событий остальных автоматов, моделирующих систему или ограничения на нее (авторы: А.В. Давыдов, А.А. Ларионов, к.ф.-м.н. Н.В. Нагул).

$$\begin{array}{l} \exists c(S_0^1, \dots, S_0^n), \\ \delta_1(S_1^{i_1}, \sigma_{i_1}, S_2^{i_1}), \\ \delta_1(S^{j_1}, \sigma_{k_1}, S^{j_1}), \dots, \\ \delta_n(S_1^{i_n}, \sigma_{i_n}, S_2^{i_n}), \\ \delta_n(S^{j_n}, \sigma_{k_n}, S^{j_n}) \end{array} \quad \xrightarrow{\forall \sigma, q_1^1, \dots, q_1^n, q_2^1, \dots, q_2^n} \delta^1(q_1^1, \sigma, q_2^1), \dots, \delta^n(q_1^n, \sigma, q_2^n), \xrightarrow{c(q_1^1, \dots, q_1^n)} \begin{array}{l} \exists \delta^{n+1}(q_1^1 \dots q_1^n, \sigma, q_2^1 \dots q_2^n), \\ c(q_2^1, \dots, q_2^n) \end{array}$$

Рис. 26. Позитивно-образованная формула, строящая параллельную композицию n конечных автоматов на основе их произведения.

Разработка модели нестационарного поля концентрации, основанной на механике стайного поведения особей биологической популяции

Разработана модель нестационарного поля концентрации. Построение модели подразделяется на три этапа. На первом, генерируется популяция особей некоего



биологического вида (агентов) заданной размерности, поведение которых описывается тремя законами стайного поведения Рейнольдса:

1. Избегание столкновений – каждый агент пытается избежать столкновений со своими ближайшими соседями.
2. Согласование скоростей – каждый агент стремится двигаться в том же направлении и с той же скоростью, что и его соседи.
3. Центрирование стаи – каждый агент стремится к центру масс локальной группы, образованной его соседями.

Далее, строится вспомогательная функция $g(x, y, t)$, принимающая значение 1 при $(x, y) \in L$, где L - множество координат агентов в момент времени t , и 0 в обратном случае. Наконец, производится свертка функции $g(\cdot)$ с ядром H , вид которого представлен на рис. 27 и нормализация результата в диапазон $[0,1]$. Размер ядра в данном случае моделирует дальность работы датчиков, с помощью которых производится обследование поля, и выбирается исходя из линейных размеров моделируемой области и характеристик самих датчиков. Полученная функция $f(x, y, t)$ описывает состояние моделируемого поля концентрации в каждый момент времени (рис. 28). Данная модель была реализована в рамках имитационного стенда TEMAR (автор: А.А. Толстихин).

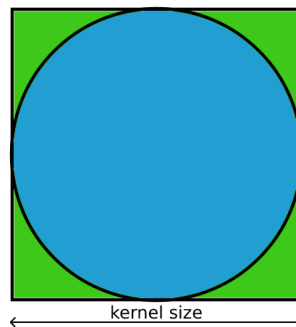


Рис. 27. Ядро свертки; элементы в зеленой зоне принимают значение “0”, в синей – “1”



Рис. 28. Пример смоделированного поля концентрации



Разработка метода планирования пути в неизвестной среде для группы мобильных роботов

Разработан основанный на событиях метод планирования пути в априори неизвестной среде для группы мобильных роботов. Задача группы состоит в следовании по заранее построенному глобальным планировщиком пути с сохранением заданной желаемой геометрической конфигурации и безопасном обходе препятствий, встречающихся по ходу движения. Реализация метода предполагает двухуровневую систему управления роботом с верхним уровнем, основу которого составляет дискретно-событийная система (ДСС), для определения подходящего режима движения робота и выполнения высокоуровневых действий, связанных с коррекцией пути, изменением структуры формации и распределением ролей в ней, а также нижним уровнем – для реализации простейших шаблонов поведения (режимов движения) робота. Управление роботами в формации основано на совместном использовании метода опорной точки и схемы «лидер-ведомый». Опорная точка перемещается вдоль предписанной группе траектории и определяет курс и скорость ее движения, а роботы как ведомые пытаются удерживать заданный курс и сохранять желаемое положение относительно своих лидеров. Предполагается, что в группе имеется один робот, называемый лидером формации, задача которого состоит в повторении движения опорной точки, а также принятии решения относительно направления обхода препятствий и определении момента времени, подходящего для возврата на опорную траекторию. В рамках реализации метода построены ДСС, описывающие логику переключения режимов движения как лидера формации, так и ведомых роботов. Для построения пути обхода препятствий предложен алгоритм, базирующийся на методе путевых точек и позволяющий на основе простой модели среды, формируемой по данным, снимаемым с датчика секторного обзора, эффективно генерировать последовательность путевых точек и затем соединять их гладкой кривой с учетом кинематических ограничений робота. Построение пути, соединяющего текущее положение робота с опорной траекторией, осуществляется с применением алгоритма, основанного на кривых Дубинса. Численное моделирование проводилось для групп малой размерности в различных групповых сценариях и показало эффективность разработанного метода. Основным преимуществом метода являются незначительные требования к вычислительным ресурсам, простая реализация и хорошая разъяснительная база, позволяющая за счет использования логики на верхнем уровне объяснять поведение группы в различных ситуациях (*авторы: к.т.н. С.А. Ульянов, к.т.н. Н.Н. Максимкин*).

Разработка и анализ распределенной модели освоения пространства двумя типами взаимодействующих роботов

Предложена распределенная модель освоения пространства двумя типами взаимодействующих роботов, которая описывается системой двух уравнений в частных производных параболического типа на изменения плотностей в каждой точке пространства с течением времени. Получено параметрическое семейство точных решений модели, которое описывает распространение роботов с некоторой базы в окружающее пространство, а также продвижение фронтов волн, представляющих границы областей с положительными плотностями. Полученные точные решения можно использовать для формирования законов



управления (изменения плотностей на границах базы) гарантирующих желаемую скорость распространения роботов в окружающее пространство.

Исследована система двух нелинейных гиперболических уравнений в частных производных четвертого порядка, правые части которой содержат двукратные операторы Лапласа и квадраты градиентов искоемых функций. Такого рода уравнения, близкие к уравнению Буссинеска и уравнениям Навье-Стокса, встречаются в задачах гидродинамики. Для построения точных решений указанной системы уравнений был предложен анзац специального вида, содержащий квадратичную зависимость от пространственных переменных и произвольные функции от времени. Использование предложенного анзаца позволило декомпозировать процесс отыскания компонент решения, зависящих от пространственных переменных и времени. Отыскание зависимости от пространственных переменных свелось к алгебраической системе матричных, векторных и скалярного уравнений. Найдено общее решение этой системы уравнений в параметрическом виде (автор: к.ф.-м.н. А.А. Косов).

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 – д.т.н. Г.М. Ружников

БЛОК 1

1.1. Разработан сервис выполнения DAG, в котором выполняется планирование и распределение вычислительных ресурсов между пользователями для выполнения композиций сервисов. Композиция сервисов может быть задана в виде графа DAG или в виде программы на языке JavaScript. Для выполнения DAG композиции сервисов разработан HTTP сервер на языке C++, работающий на операционной системе Ubuntu 14+. HTTP сервер предоставляет REST интерфейс постановки выполнения DAG композиций в очередь. Поддерживает выполнение сервисов, реализующих стандарт WPS и REST (REST с некоторыми ограничениями). Для планирования выполнения сервисов на выделенном множестве вычислительных узлов используется алгоритм HEFT+. При завершении выполнения DAG или отдельных вызовов сервисов HTTP сервер может вызвать указанный в DAG сервис и передать результаты. Предусмотрен метод, позволяющий получить состояние выполнения целиком DAG или отдельных его сервисов. Осуществлено развитие интерпретатора JavaScript композиций. При интерпретации JavaScript композиции и вызове сервисов формируется DAG, который передается HTTP серверу. Модернизация интерпретатора JavaScript позволяет JavaScript композиции планировать и выполнять вместе с DAG композициями (авторы: д.т.н. Г.М. Ружников, к.т.н. Р.К. Фёдоров, к.т.н. А.К. Попова, к.т.н. Ю.В. Авраменко).

1.2. Был реализован алгоритм генерации кода чтения данных по спецификации на языке FlexT на разных языках программирования. Генерация выполняется через промежуточное представление, описывающее императивный язык программирования. Далее



используются генераторы кода на конкретном языке программирования, переводящий это внутреннее представление в текст на целевом языке. Реализованы генераторы на языках Pascal и C++. Вся необходимая для работы генерируемого кода общая информация описывается в системной библиотеке генератора кода - модуле FmtSys, который должен быть переписан на каждый целевой язык.

Выполнен обзор методов структурирования и разметки информации в хранилищах больших данных. Рассмотрены особенности технологий хранилищ данных, ориентированных, в первую очередь, на работу со структурированной информацией в базах данных, и озёр данных, ориентированных на работу с неструктурированной разнородной первичной информацией. Сделан вывод, что в данном проекте требуется использовать комбинацию этих подходов: для представленной в БД информации требуется использовать хранилище данных, а для первичных данных, представленных в файлах различных типов, дополнительно структурировать эти файлы по их типам, используя при этом спецификации форматов данных, привязку к первичным данным спецификаций поддерживаемых способов их обработки с сохранением (кэшированием) результатов обработки. Отдельно необходимо учитывать специфику обработки и анализа пространственных данных, которые должны составлять значительную часть собираемой информации в этом проекте. В качестве примера методов обработки предложен и реализован алгоритм построения контуров береговых линий по космоснимкам с субпиксельной точностью (*авторы: к.т.н. А.Е. Хмельнов, к.т.н. А.С. Гаченко, к.т.н. Е.С. Фереферов*).

1.3. Сформулированы и изучены теоретические основы представления электронных документов, включая: анализ современного состояния проблематики; выделение существующих классов задач и методов их решений; проектирование и реализация программных библиотек и инструментальных каркасов на основе инверсии управления для представления и хранения документов различной структурной сложности. Практическая значимость ожидаемых результатов состоит в их применении для синтаксической и семантической аннотации электронных документов в приложениях сбора и курирования данных, информационного поиска и документооборота (*автор: к.т.н. А.А. Михайлов*).

Выполнен обзор литературы, проведены теоретические исследования, характеризующее влияние представления и организации структуры табличных данных на качество их извлечения и автоматического понимания. Выделены отдельные работы, описывающие возможности повышения качества представления табличных данных. Решению данной задачи предшествует задача идентификации типа компоновки таблицы (матрицы, таблицы сущностей и реляционные таблицы) и на его основе производится восстановление семантических связей (семантическая нормализация) между элементами. Данные операции позволяют идентифицировать отношение между табличными элементами. Для очистки табличных данных предлагается проведение реконсиляции позволяющей унифицировать их форматы и представления, провести приведение физической структуры таблиц в соответствие с их визуальным (логическим) представлением. Для физического представления проводится трансформация, исключая пустые ячейки. На уровне заголовков пустые ячейки должны быть полностью исключены, на уровне области представления данных пустые ячейки требуется проведение замены литералами типа "na".



Необходимо разделение данных в ячейке таким образом, чтоб в каждой ячейке хранилось только одно атомарное значение (*автор: к.т.н. В.В. Парамонов*).

Выполнен обзор литературы и технологий, связанных с представлением информации в документах с использованием теоретического базиса и технологий Семантического Веба. Выделен набор стандартизированных формализованных онтологий, определены роли этих онтологий в представлении документов различного рода (аннотаций учебных курсов, юридических документов, статей с использованием картографических произведений) и процессов в документообороте. Разработаны методики представления семантически размеченных документов с хранением данных в графах знаний, а также вариантов реализации разметки и хранилищ данных. Предложена архитектура модульного представления цифровых архивов, основанных на графах знаний с компонентным представлением модулей. На основе предложенных методик созданы приложения, апробирующие разработанные технологии, а именно, создана WEB-GIS-viewer разломов Юга Восточной Сибири с представлением содержательной информации в графе знаний, усовершенствована система конструирования рабочей программы дисциплины вуза. Полученные результаты также использованы в модернизации системы порождения исходного кода в системе визуального dataflow-представления MiSEQ SOP-библиотеки Mothur (секвенирование нового поколения) (*автор: к.т.н. Е.А. Черкашин*).

Предложена структура и определения задач и подзадач проблемы автоматического понимания табличной информации (далее АПТИ). В предлагаемой структуре выделено 3 задачи: (1) извлечение таблиц, (2) интерпретация таблиц и (3) извлечения табличных метаданных, а также 7 следующих подзадач: (1) обнаружение таблиц (включая дискриминацию не подлинных таблиц); (2) распознавание структуры таблицы; (3) ролевой анализ (включая классификацию ячеек, обнаружение функциональных регионов, классификацию компоновочных типов таблиц); (4) структурный анализ; (5) приведение к канонической форме; (6) нормализацию данных; (7) семантическую интерпретацию (включая классификацию и идентификацию типов столбцов, связывание именованных сущностей, извлечение отношений). Описан информационный процесс АПТИ, определяющий возможные последовательности выполнения и интерфейсы взаимодействия потенциальных решений перечисленных задач и подзадач. Выполнен аналитический обзор научной литературы, посвященной вопросам извлечения и интерпретации табличной информации, представленной в печатно-ориентированных документах, электронных таблицах и веб-страницах (всего рассмотрено более 150 источников). Сделаны выводы, подтверждающие обоснованность предложенной структуры и определений проблемы АПТИ. (*автор: к.т.н. А.О. Шигаров*).

Алгоритмы и программные средства, обеспечивающие использование концептуальных моделей и электронных таблиц для формирования компонентов (модулей) интеллектуальных систем (*авторы: к.т.н. Н.О. Дородных, Г.С. Малтугова, д.т.н. О.А. Николайчук, к.т.н. А.Ю. Юрин*).

Принципы самоорганизации для создания технологии автоматизации интеллектуальной деятельности при решении междисциплинарных задач



Определены принципы самоорганизации для автоматизации интеллектуальной деятельности при решении междисциплинарных задач. Под самоорганизацией понимается процесс упорядочения элементов (компонентов) в информационной системе за счёт внутренних факторов, без специфического внешнего воздействия. Самоорганизация имеет параметрический и структурный характер. Принципы самоорганизации: наличие общего информационного, математического, методологического и программного пространства; обеспечение взаимодействия специалистов из различных дисциплин; наличие различных возможностей согласования мнений групп экспертов; возможность обработки гетерогенной информации различного уровня структуризации; возможность использования гетерогенного программного обеспечения (открытых программных кодов, сторонних программ, собственных разработок, гибридных систем и др.); понижение квалификационных требований для специалистов-предметников в областях программирования и методов представления и обработки знаний до уровня взаимодействия с программной системой в терминах предметной области; осуществление максимальной поддержки принятия решений на всех этапах решения задач; повышение степени автоматизации и адаптивности управления процессом решения задачи (*авторы: д.т.н. А.Ф. Берман, д.т.н. О.А. Николайчук*).

Концептуальная архитектура и минимальный набор компонентов для создания платформы автоматизации интеллектуальной деятельности как сервиса (AI PaaS)

Предложена концептуальная архитектура и базовый (минимальный) набор компонентов облачного сервиса, обеспечивающего возможность автоматизации интеллектуальной деятельности по схеме «платформа-как-услуга» (Platform as a Service). В качестве инфраструктурной основы предложено использовать ресурсы платформы Яндекс.Облако. Основной функцией создаваемого облачного сервиса является разработка продукционных экспертных систем. Минимальный набор компонентов сервиса включает: компонент управления данными; компонент представления и редактирования данных; компонент концептуального моделирования; компонент рассуждения на основе правил, а также редактор операций (workflow-компонент). Наиболее важным из них является редактор операций, возможности которого позволяют интегрировать существующее алгоритмическое обеспечение в качестве новых базовых операций. Данная особенность позволит реализовать в создаваемых экспертных системах поведение, выходящее за пределы функциональности базовых компонентов.

Создан прототип облачного сервиса, апробация которого была проведена при решении задач компонентного моделирования окружающей среды (*автор: к.т.н. А.И. Павлов*).

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

Для одного класса двухуровневых задач с равновесием на нижнем уровне, где сформулирована параметрическая биматричная игра, разработаны теоретические основы отыскания оптимистических решений. В частности, доказана теорема редукции этой задачи к



общей задаче d.c. оптимизации с невыпуклыми равенствами и неравенствами. Для последней на базе Теории глобального поиска А.С. Стрекаловского и теории точного штрафа построен специальный штрафной метод локального поиска, являющийся одним из основных элементов Стратегии глобального поиска (*автор: к.ф.-м.н. А.В. Орлов*).

Для задачи упаковки прямоугольников в несколько полос предложены несколько формулировок в виде задач целочисленного программирования. Отдельно исследован частный случай задачи, в которой прямоугольники упаковываются на так называемые уровни (или полки). Для такой уровневой задачи упаковки в несколько полос разработаны обобщения жадных алгоритмов, известных как NFDH (Next-Fit Decreasing Height) и FFDH (First-Fit Decreasing Height). Кроме того, разработан вариант так называемой skyline-эвристики, а также рандомизированный алгоритм локального поиска, в котором предложенная эвристика используется для подсчета значения целевой функции задачи. Разработанные алгоритмы реализованы и протестированы в рамках обширного вычислительного эксперимента на реальных практических задачах большой размерности, возникающих в области оптимизации использования вычислительных ресурсов в Spark-системах (*авторы: к.ф.-м.н. И.Л. Васильев, к.ф.-м.н. А.В. Ушаков*).

Для задачи невыпуклого оптимального управления линейной по состоянию системой, где целевой функционал и ограничения типа неравенства задаются функционалами Больца (при этом все функции, входящие в постановку задачи, являются d.c. по состоянию, т.е. представимы в виде разности выпуклых по состоянию функций), с помощью Теории точного штрафа разработана новая специальная схема локального поиска с варьированием штрафного параметра. Доказана теорема ее сходимости (*автор: д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский*).

Для решения систем нелинейных алгебраических уравнений (СНАУ) с квадратичными функциями предложен подход, в основе которого лежит решение негладкой оптимизационной задачи. Эта задача является задачей d.c. минимизации и для ее решения разработан алгоритм, основанный на условиях глобальной оптимальности. В ходе вычислительного эксперимента по тестированию разработанного алгоритма найдено решение СНАУ с количеством уравнений до 1000. Для поиска всех корней СНАУ на заданном параллелепипеде разработан подход, основанный на редукции к вспомогательной оптимизационной задаче с d.c. целевой функцией и d.c. ограничениями и поиске решений, при которых значение целевой функции вспомогательной задачи равно нулю (*авторы: д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский, к.ф.-м.н. Т.В. Груздева, М.В. Баркова*).

Предложен новый алгоритм псевдобулевой оптимизации, основанный на комбинации известной стратегии мутации (1+1)-ЕА и принципа склеивания переменных (Merging Variables Principle). Построенный алгоритм имеет привлекательные теоретические свойства: с одной стороны, он сохраняет одно из важных базовых свойств (1+1)-ЕА (мат. ожидание числа перевернутых в результате одной мутации бит есть 1), с другой, имеет лучшую верхнюю оценку сложности. Предложенный алгоритм был реализован в виде многопоточного приложения и продемонстрировал сравнительно высокую эффективность в применении к некоторым частным случаям задачи MaxSAT (*авторы: к.т.н. А.А. Семенов, к.т.н. И.В. Отпущенников, К.В. Антонов*).



Введена и развита концепция декомпозиционной трудности невыполнимых КНФ формул в контексте задачи булевой выполнимости (SAT). Предлагаемая концепция идейно близка к результатам статьи С. Ansotegui, M.-L. Bonet, et al. (AAAI 2008). Конкретно, в работе этих авторов была показана связь древовидных (tree-like) метрик трудности КНФ формул с мерой трудности, в основе которой лежит понятие лазейки (Strong Backdoor Set, SBS). Однако при определении SBS используется некоторый полиномиальный алгоритм, что сильно затрудняет применение лазеек данного типа на практике. По аналогии с SBS-мерой трудности было введено понятие декомпозиционной трудности (d-hardness) КНФ формул. Аналогами лазеек в этом случае являются декомпозиционные множества. Было показано, что для оценивания декомпозиционной трудности можно применять разработанные ранее методы псевдобулевой black-box оптимизации, используемые для построения некоторых криптографических атак. Для классов КНФ-формул, относящихся к тестированию эквивалентности булевых схем, были найдены декомпозиционные множества, параллельная обработка которых дает сверхлинейное ускорение в сравнении с решением исходной задачи однопоточным алгоритмом (авторы: к.т.н. А.А. Семенов, Д.С. Чивилихин, А.Л. Павленко, к.т.н. И.В. Отпущенников, В.И. Ульянов, к.ф.-м.н. А.С. Игнатьев).

Для задач обращения некоторых криптографических функций предложены новые техники порождения ограничений, не входящих в исходную КНФ-кодировку рассматриваемой задачи. В рамках этих техник для составления нового уравнения, задающего связь между некоторыми переменными кодировки, используется малое число бит выхода рассматриваемой функции и SAT решатель, выполняющий роль оракула. Решатель должен для заданного множества переменных доказать отсутствие некоторых наборов значений этих переменных на произвольном входе функции либо на произвольном входе, который является прообразом для фиксированного множества бит выходного слова. В силу свойств используемых шаблонных КНФ функций, соответствующие SAT задачи решаются эффективно. Каждый ответ UNSAT формирует новое ограничение, запрещающее некоторым переменным в кодировке принимать конкретные значения. Для криптографических функций вида MD4-k ($k \in \{39, \dots, 48\}$) с использованием описанного подхода были построены новые атаки, трудоемкость которых ниже известных близких по смыслу атак (авторы: к.т.н. А.А. Семенов, К.В. Антонов, И.А. Грибанова).

Выполнена реализация на языке Python семейства алгоритмов работы с дизъюнктивными диаграммами. Фактически получен пакет функционально связанных между собой алгоритмов на Python. Данный пакет предполагается применять при разработке и прототипировании алгоритмов, использующих дизъюнктивные диаграммы (автор: В.С. Кондратьев).

Представлено описание комплекса прикладных программ для расчета звуковых полей в трехмерных волноводах мелкого моря общего вида. Данный комплекс программ представляет собой реализацию на языке C++ алгоритма численного решения широкоугольных модовых параболических уравнений. При выполнении расчетов пользователь может задавать поле скорости звука, рельеф дна и структуру его слоев. Результатом работы программного комплекса являются один или несколько горизонтальных разрезов поля акустического давления на заданных горизонтах. Разработанный программный комплекс может представлять интерес для широкого круга специалистов по акустике океана,



занимающихся моделированием распространения звука при решении прикладных задач (авторы: А.Г. Тищенко, к.т.н. О.С. Заикин, М.А. Сорокин, П.С. Петров).

В рамках направления по разработке технологии сценарного анализа сложных объектов на основе их математического и имитационного моделирования проведён аналитический обзор методов и средств компонентно-ориентированного моделирования, использующихся в области комплексного моделирования окружающей среды. Выделаны три класса задач интеграции моделей-компонентов: техническое связывание (согласование по данным для запуска цепочки моделей), концептуальное связывание (согласование понятийного аппарата при связывании моделей), семантическое связывание (согласование методологий; пространственное, временное и организационное масштабирование). В тестовом режиме в платформе реализована техническая интеграция. В контексте функциональности платформы сформулированы задачи для решения понятийного и семантического связывания (автор: к.т.н. А.Б. Столбов).

Для задачи маршрутизации транспорта, который движется в среде с динамически изменяющимися свойствами в качестве критерия оптимальности предложено использовать времени доставки, а не пройденное при этом расстояние. В качестве инструмента исследования применяется оптико-геометрический подход, основанный на аналогии между распространением света в оптически неоднородной среде и минимизацией интегрального функционала. При этом для описания волновых фронтов используются точные и приближенные решения уравнений эйконала. Предложены и программно реализованы два оригинальных численных алгоритма построения маршрута. Выполнен вычислительный эксперимент, показавший эффективность предложенного модельно-алгоритмического инструментария (автор: к.ф.-м.н. А.А. Лемперт).

Предложена методика математического моделирования работы грузовых и сортировочных железнодорожных, позволяющая учесть наличие нескольких входящих поездопотоков и нелинейной иерархической структуры исследуемого объекта. Применение нескольких ВМАР-потоков позволяет учесть наличие нескольких направлений поступления поездов в систему. При этом каждое направление может включать два и более типов поездов с различными характеристиками: интенсивность прибытия и распределение числа вагонов в нем. С помощью различных дисциплин принятия заявок возможно описать в модели особенности принятия разных типов поездов в систему. Использование СеМО позволяет отобразить в модели движение отдельного вагона внутри объекта с нелинейной иерархической структурой при наличии двух и более возможных маршрутов движения. На основе предложенной методики построены стохастические модели работы трех сортировочных железнодорожных станций. Одна из них является крупнейшей в мире и расположена в США. Эта станция помимо сортировочной работы выполняет и грузовые функции с поездами. Две другие станции действуют на территории России (авторы: к.т.н. М.Л. Жарков, к.ф.-м.н. А.А. Лемперт).



ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОЕКТАМ, ПОДДЕРЖАННЫМ СОВЕТОМ ПО ГРАНТАМ ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Грант Президента РФ МК-1647.2020.9 «Методы и средство создания онтологий и их шаблонов на основе преобразований электронных таблиц в контексте обработки больших данных»

Руководитель проекта – к.т.н. Н.О. Дородных

Основные результаты:

1. Метод восстановления семантики электронных таблиц на основе паттернов онтологического проектирования.

2. Программное средство в виде веб-приложения, реализующее предлагаемые методы и включающее следующие основные модули:

- генерации онтологий на основе трансформации электронных таблиц;
- генерации онтологических паттернов на основе трансформации концептуальных моделей;
- восстановления семантики электронных таблиц на основе онтологических паттернов;
- синтеза кода онтологий в формате OWL2 DL;
- верификации и валидации синтезируемых онтологий с целью выявления основных групп аномалий (нарушений целостности, согласованности, полноты и т.д.).

3. Оценки адекватности и эффективность предлагаемых метода и инструментального средства на примере создания онтологии в учебном процессе и при решении прикладных задач в области поддержки проведения экспертизы промышленной безопасности в нефтехимии, включая разработанную онтологию экспертизы промышленной безопасности.

Стипендия Президента РФ молодым ученым и аспирантам СП-3545.2019.5 «Применение высокопроизводительных вычислений к построению алгебраических атак на криптографические хеш-функции»

Руководитель проекта – И.А. Грибанова

В 2021 году был описан новый класс криптографических атак, относящихся к алгебраическому криптоанализу. Атаки из данного класса используют информацию от SAT оракула. В процессе такой атаки рассматриваемая функция представляется в виде шаблонной КНФ (template CNF), в которой выходное значение функции либо не фиксируется, либо фиксируется лишь некоторое малое число его бит. SAT решатель в применении к таким КНФ работает очень быстро. Как результат, для ряда переменных КНФ-кодировки мы доказываем отсутствие некоторых наборов их значений в искомым прообразах рассматриваемой функции. Это позволяет построить новые ограничения, которые запрещают ряд значений внутренних переменных схемы, представляющей функцию, и тем самым сокращают размерность пространства поиска. Описанные атаки оказались более эффективными в сравнении с известными в применении к криптографическим хеш-функциям вида MD4-k, $k \in \{39, \dots, 48\}$.



**Стипендия Президента РФ молодым ученым и аспирантам СП-2017.2019.5
«Разработка комплекса алгоритмов для поиска декомпозиций трудных примеров
задачи булевой выполнимости с применением методов комбинаторной оптимизации»**

Руководитель проекта – С.Е. Кочемазов

В 2021 году были систематизированы и обобщены результаты по применению методов оптимизации black-box функций типа для поиска разбиений трудных примеров SAT. Разработаны новый SAT-решатель, демонстрирующий высокую эффективность на ряде задач криптоанализа поточных шифров, и параметризованный SAT-решатель, позволяющий активировать и деактивировать реализованные в нем современные CDCL-эвристики независимо друг от друга. На тестах их алгебраического криптоанализа разработанный решатель существенно превзошел по эффективности победителей соревнований SAT решателей последних лет.

**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: AAAA-A18-118082090003-8

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

Получены следующие результаты.

1. Создано инструментальное средство верификации кандидатных таблиц, предсказанных глубокими нейронными сетями на изображениях документов. Верификатор позволил улучшить качество извлечения таблиц в сторонних приложениях.
2. Реализовано программное обеспечение для извлечения таблиц из неразмеченных PDF-документов с вовлеченной глубокой нейросетевой моделью обнаружения таблиц и верификатором кандидатных таблиц.
3. Создано инструментальное средство коррекции физической структуры ячеек электронных таблиц. Ожидается, что завершение реализации корректора позволит повысить измеряемое качество автоматического извлечения данных из электронных таблиц.
4. Реализован инструментальный комплекс разработки прикладного программного обеспечения извлечения данных из произвольных электронных таблиц на основе пользовательских правил анализа и интерпретации таблиц.
5. Создано инструментальное средство семантической интерпретации таблиц на основе таксономий знаний общего назначения. Реализовано решение генерации связанных данных в формате RDF-триплетов на основе трансформации электронных таблиц.
6. Проведено тематическое исследование развиваемого решения семантической интерпретации таблиц на задаче конструирования предметных онтологий. Получены экспертные выводы о перспективах автоматизации конструирования предметных онтологий из табличных источников.



Основные полученные результаты:

Разработаны теоретические основы семантической интерпретации (аннотирования) табличных данных, извлеченных из Веб, в том числе методы и средства для:

- классификации столбцов исходной веб-таблицы на категориальный (столбец с именованными сущностями) и литеральный тип;
- идентификации сущностного (тематического) столбца, определяющего смысловое наполнение таблицы, среди категориальных столбцов;
- отображения значений ячеек в конкретные сущности (экземпляры) из целевого графа знаний;
- отображения столбцов (атрибутов) в классы и типы данных из целевого графа знаний;
- отображения отношений между столбцами в свойства (предикаты) из целевого графа знаний;
- генерации выходных данных в форме RDF-триплетов в терминах целевого графа знаний.

ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОВЕДЕННЫЕ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ РОССИЙСКОГО ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

По программам РФФИ выполнялись работы по проектам:

- | | |
|---------------|---|
| 18-29-10019 | «Разработка алгоритмов численного решения начальных и краевых задач для сингулярных и дифференциально-алгебраических уравнений высокого порядка применительно к нестационарным моделям теплогидравлики в элементах энергетических установок»
Руководитель проекта – д.ф.-м.н. М.В. Булатов |
| 19-01-00301_a | «Прецизионная дифференциальная реализация нелинейных гибридных систем и анализ их равновесных положений средствами компьютерной алгебры»
Руководитель проекта – д.ф.-м.н. А.В. Лакеев |
| 19-07-00927_a | «Методы и инструментальные средства создания баз знаний на основе модельных трансформаций»
Руководитель проекта – к.т.н. А.Ю. Юрин |
| 19-07-00097_a | «Фундаментальные проблемы непрерывной интеграции функционального наполнения распределенных пакетов прикладных программ на основе инженерии знаний»
Руководитель проекта – к.т.н. А.Г. Феоктистов |
| 19-07-00746_a | «Разработка алгоритмов и инструментария для применения контрольных точек при решении трудных вариантов задачи булевой выполнимости»
Руководитель проекта – С.Е. Кочемазов |
| 19-08-00746_a | «Устойчивость и стабилизация движений многокомпонентных |



Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2021 г.

систем»

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

- 19-37-90065 «Алгоритмы идентификации нелинейных динамических моделей на основе методик обучения с подкреплением»
Руководитель проекта – д.т.н. А.Ю. Горнов
- 20-07-00397 «Разработка методов анализа и синтеза систем управления группировками автономных роботов на основе событий»
Руководитель проекта – к.т.н. С.А. Ульянов
- 20-07-00407 «Технология математического моделирования естественнонаучных процессов на основе вырождающихся параболических уравнений»
Руководитель проекта – д.ф.-м.н. А.Л. Казаков
- 20-47-380001 «Технология интеллектуальной и компьютерной поддержки исследований сложных уникальных систем на основе их математического моделирования и сценарного анализа с приложением к оценке состояния водных ресурсов Приангарья»
Руководитель проекта – к.ф.-м.н. А.А. Лемперт
- 20-47-380002-p_a «Математическое и информационное моделирование инфраструктурных объектов Байкальской природной территории»
Руководитель проекта – к.т.н. А.Г. Феоктистов
- 20-47-383002 «Исследование региональных транспортных систем на основе теории массового обслуживания (на примере Иркутской области)»
Руководитель проекта – к.т.н. Жарков М.Л.;
- 20-17-50233 «Задачи размещения в области машинного обучения»
Руководитель проекта – к.ф.-м.н., А.В. Ушаков

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ГРАНТЫ РФФИ

РФФИ №17-57-44006_Монг_a «Инфраструктура и технологии создания сервисно-ориентированной информационно-аналитической системы зонирования сейсмической опасности больших литосферных блоков Прибайкалья и Монголии»

Научный руководитель проекта от России – д.т.н. Г.М. Ружников

РФФИ №20-51-54003 и Институт математики вьетнамской академии наук и технологий «Исследование качественных свойств дифференциально-алгебраических уравнений и построение численных алгоритмов для их решения»

Научный руководитель проекта от России – к.ф.-м.н. Л.С. Соловарова



РФФИ №20-51-S52003 и Министерство по науке и технологиям Тайваня «Численное решение эллиптических и параболических уравнений с особенностями, основанное на интегральной записи»

Научный руководитель проекта от России – д.ф.-м.н. М.В. Булатов

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 И.В. Бычков

В процессе выполнения работ по направлению «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории» в 2021 году:

Запланированные на 2021 год задачи выполнены полностью и создают основу фундаментальных исследований методов и технологий для разработки единой сервис-ориентированной платформы цифрового мониторинга БПТ, основанной на сквозных технологиях и обеспечивающей сбор, хранение и мониторинг больших массивов разноформатных распределенных междисциплинарных научных данных, их анализ и прогнозирование развития природных и техногенных процессов на основе комплекса математических моделей и методов машинного обучения.

Полученные в проекте методы и технологии позволят создать оригинальную распределенную сервисно-ориентированную платформу хранения, обработки больших объемов разноформатных научных данных и знаний для поддержки процессов непрерывного мониторинга крупных озерных систем, их междисциплинарных исследований и прогнозирования развития возможных событий.

Ожидаемые результаты исследований будут способствовать переходу к новым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, автоматизированным системам нового поколения, позволят повысить эффективность создаваемых и внедряемых распределенных информационно-вычислительных технологий, в том числе технологий обработки больших объемов пространственно-временных данных, а также позволят повысить качественный уровень проведения междисциплинарных научных исследований.

Разрабатываемые методы и сквозные технологии найдут широкое применение при формировании систем поддержки принятия решений органов государственной власти и местного самоуправления для решения проблем эффективного управления социально-эколого-экономическим развитием территорий, снижения рисков возникновения и сокращения неблагоприятных последствий техногенных и природных катастроф.

Концепция сервиса для анализа и прогнозирования риска (опасности) лесных пожаров на основе информации о классе пожароопасности лесов, метеоусловий и других факторов (Дородных Н.О., Николайчук О.А., Пестова Ю.В., Юрин А.Ю.).



Разработана концепция сервиса, включая основные алгоритмы и архитектуру, в том числе были решены следующие задачи

- Сбор, очистка и анализ данных о лесных пожарах и выявлением эвристик, позволяющих идентифицировать территориальный риск пожароопасности леса, который в данной работе будет рассматриваться как риск пожароопасности лесного квартала/дачи/лесничества;
- Разработка базы знаний для анализа и прогнозирования риска (опасности) лесного пожара на основе информации о классе пожароопасности лесов, метеоусловий и других факторов.

В качестве исходных данных использовалась информация о термальных точках (пикселах горения), выявленных по спутниковым данным с использованием программного комплекса FireProc, созданного в ИСЗФ СО РАН. Данные термальные точки в работе рассматриваются как возможные лесные пожары на Байкальской природной территории. Данные охватывают период с 2017-2020 гг. и включают более 45 000 записей с информацией о координатах термальных точек, дате обнаружения и площади распространения. Для решения задач определения причин возникновения пожаров и прогнозирования их динамики в рамках работы осуществлен сбор и подготовка данных о погодных условиях, а также информация об инфраструктуре (дороги, населенные пункты), лесничествах, лесных участках и дач, типе растительности и классах пожароопасности лесов.

Для поддержки сбора, очистки и анализа данных был разработан программный модуль GeoAnalytics на языке Python 3, использующий библиотеки shapely, pyproj и pandas для работы с геометрическими объектами в форматах WKT и WKB. Репозиторий проекта на GitHub: <https://github.com/Lab42-Team/geoanalytics>

При решении второй задачи использовалась авторская разработка в форме технологии для прототипирования продукционных экспертных систем и баз знаний на основе трансформаций (ПЭСоТ). Данная технология позволяет автоматизировать формирование баз знаний путем использования разных источников информации, в том числе концептуальных моделей и таблиц различных видов.

В ходе применения технологии была построена концептуальная модель предметной области, описывающая факторы, влияющие на класс пожарной опасности лесного участка и риск (вероятность) возникновения пожара. Далее были разработаны таблицы решений, описывающие структурный аспект предметной области. Эти таблицы содержат информацию о сочетаниях признаков, описывающих класс пожарной опасности лесного участка и риск (опасность) лесного пожара. Затем с помощью расширения для PKBD (Personal Knowledge Base Designer) таблицы решений были преобразованы и представлены в виде логических правил, которые были уточнены в форме RVML (Rule Visual Modeling Language) с дальнейшей генерацией программных кодов на CLIPS и PHP.

Данные результаты будут в дальнейшем использованы при программной реализации сервиса.



ИССЛЕДОВАНИЯ ПО МОЛОДЕЖНЫМ ПРОЕКТАМ

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 2021 г.:

1) Сформулированы технические и функциональные требования к средствам управления конфигурациями на основе характеристик программного обеспечения цифровых двойников природосберегающего оборудования инфраструктурных объектов.

2) Проведен сравнительный анализ известных систем автоматизации управления конфигурациями. На основе проведенного анализа осуществлен выбор базовых систем автоматизации управления конфигурациями.

3) Разработаны оригинальные инструментальные средства автоматизации управления конфигурациями, реализующие недостающие для решения поставленных задач функциональные возможности базовых систем.

Стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики, получили:

И.А. Грибанова, проект СП-3545.2019.5 «Применение высокопроизводительных вычислений к построению алгебраических атак на криптографические хеш-функции»;

С.Е. Кочемазов, проект СП-2017.2019.5 «Разработка комплекса алгоритмов для поиска декомпозиций трудных примеров задачи булевой выполнимости с применением методов комбинаторной оптимизации».



РАБОТЫ ПО РАЗВИТИЮ ИНФРАСТРУКТУРЫ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ИРКУТСКОГО НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА (ИИВС ИРНОК)

Руководитель – ак. И.В. Бычков

Отв. исполнители – д.т.н. Г.М. Ружников, к.т.н. Т.И. Маджара

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 2021 г. составила 100 %.

Развитие материально-технической базы

В отчетном году в рамках проекта «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории» материально-техническая база ИИВС ИРНОК получила дальнейшее развитие, как в направлении увеличения ресурса хранения данных, так и сетевой скорости доступа к нему (Таб. N).

	Объем высокопроизводительной дисковой памяти для дисков виртуальных машин, ТБ	Объем СХД оперативного и архивного назначения, ТБ	Скорость доступа к высокопроизводительной Дисковой памяти, Gb/s	Скорость доступа к СХД оперативного назначения, Gb/s на 1 порт
Исходное состояние	84	50	8	1
Модернизация 2020 г	103,2(+19,2) + + 2x 1,92 (SSD-кэш)	402	8/12	4
Модернизация 2021 г		818 (+416)	8/12	10

Таб. N

За счет ввода приобретенных дополнительных высокоскоростных модулей в системы хранения данных, а также доукомплектования сетевой подсистемы основного программно-аппаратного комплекса ИИВС HPE BladeSystem c7000 на базе блэйд-серверов HPE Proliant BL460 Gen8/Gen10 коммутаторами, обеспечивающими возможность подключения на скоростях до 40 Gb/s (на одном порту) значительно увеличены как скорость подключения непосредственно к СХД, так и скорость сетевого взаимодействия серверов программно-аппаратного комплекса с остальными компонентами инфраструктуры ИИВС.



В Ситуационном центре цифрового экологического мониторинга БПТ, интегрированного с мультимедийной инфраструктурой ИИВС, начато техническое дооснащение. Закуплены: демонстрационная панель высокого разрешения диагональю 85” (для визуализации пространственно-распределённых данных мониторинга и динамического причинно-следственного анализа состояния экологической обстановки Байкальской природной территории и озера Байкал), а также звуковое оборудование (для проведения территориально распределённых конференций и совещаний).

Техническое обслуживание и информационно-консультационное обеспечение. В течение года проводилось плановое техническое обслуживание, модернизация и сопровождение локально-вычислительных сетей, каналов связи, сетей, серверов, программно-аппаратных комплексов, систем и сетей хранения данных, а также инженерно-технического оборудования.

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

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЕ ЦКП «ИРКУТСКИЙ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЙ ЦЕНТР СО РАН» (ИСКЦ)

Руководитель – ак. И.В. Бычков

Исполнители – к.т.н. А.П. Новопашин, к.т.н. И.А. Сидоров, Р.О., к.т.н. Костромин

Обеспечение функционирования и развитие ЦКП «Иркутский суперкомпьютерный центр СО РАН» (ИСКЦ)

1. Подготовка предложений во исполнение поручений Президента РФ № Пр-647 от 10 апреля 2020 года (п. 1з).

Совместно с НГУ, ИВМиМГ СО РАН и др. разработан и представлен на заседании Президиума РАН 16.02.2021 г. план развития Сети суперкомпьютерных центров СО РАН, предполагающий, в том числе, поэтапную модернизацию оборудования ЦКП ИСКЦ: I этап (2021-2022 гг.) – масштабирование вычислительного кластера «Академик В.М. Матросов» на основе существующей инженерной инфраструктуры до пиковой производительности 1 Pflops; II этап (с 2023 г.) – увеличение мощности вычислительных ресурсов ЦКП ИСКЦ до 3 и более Pflops.

Подготовлен технический проект (расчет) I-го этапа модернизации.

2. Участие в конкурсе Минобрнауки России по отбору проектов, направленных на обеспечение развития центров коллективного пользования научным оборудованием (шифр 2021-2296-512-0001).

3. Обеспечение непрерывного функционирования вычислительных ресурсов ЦКП ИСКЦ, в том числе:

- проведение планового технического обслуживания и текущего ремонта оборудования вычислительной и инженерной инфраструктуры ЦКП ИСКЦ с привлечением сторонних организаций;

- сопровождение программного обеспечения.

4. Работа с пользователями ЦКП ИСКЦ, в том числе:



- заключение договоров,
- регистрация и инструктаж новых пользователей,
- обработка обращений пользователей в службу технической поддержки,
- информационно-методическая поддержка пользователей ЦКП ИСКЦ – обновление материалов, размещаемых на сайте ЦКП ИСКЦ <http://hpc.icc.ru>.

В 2021 году получено 52 новые заявки на доступ к оборудованию ЦКП ИСКЦ. В целом в течение года работы выполнялись по 82-м актуальным заявкам. Обработано более 150 тикетов (обращений пользователей в службу технической поддержки).

5. Поддержание в актуальном состоянии документов, регламентирующих деятельность ЦКП ИСКЦ (в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 17 мая 2016 года №429).
6. Подготовка отчетов о деятельности ЦКП ИСКЦ по запросам Минобрнауки России и Научного совета по супервычислениям СО РАН.

ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

В 2021 г. получено 8 свидетельств о государственной регистрации результатов интеллектуальной деятельности:

1. Костромин Р.О. Сервис создания и редактирования спецификаций моделей цифровых двойников инфраструктурных объектов: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2021662945 от 10.08.2021. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2021.
2. Костромин Р.О., Феоктистов А.Г. Сервис подготовки и запуска имитационных моделей функционирования инфраструктурных объектов в распределенной вычислительной среде: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2021662946 от 10.08.2021. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2021.
3. Горский С.А. Средства организации расчетных баз данных, предназначенных для сбора, хранения и обработки многовариантных экспериментальных данных: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2021662947 от 10.08.2021. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2021.
4. Юрин А.Ю., Дородных Н.О. Knowledge Graph Augmentation System: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2021664724 от 13.09.2021. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2021.
5. Толстихин А.А. Программное обеспечение программно-аппаратного комплекса TEMAR (Testbed Environment for Multiple Autonomous Robots): Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2021669690 от 02.12.2021. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2021.
6. Кензин М.Ю. Моделирующий комплекс «Situational awareness system for distributed robotic groups»: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2021669692 от 02.12.2021. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2021.
7. Ульянов С.А., Дружинин Э.И. Программа для расчета законов управления переориентацией космического аппарата в классе перманентных вращений: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2021669697 от



02.12.2021. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2021.

8. Грибанова И.А., Семенов А.А., Отпущенников И.В. Многопоточный решатель проблемы MaxSAT: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2021680063 от 07.12.2021. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2021.

НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

УЧЕНЫЙ СОВЕТ

Ученый совет Института утвержден приказом директора ИДСТУ СО РАН № 24 от 30.06.2017 г. В 2021 году проведено 11 заседаний, на которых рассматривались вопросы научной и научно-организационной деятельности. Заслушаны отчеты о результатах НИР по плановым темам Института за 2021 г., проведены конкурсы на замещение должностей научных работников, утверждены темы НИР, выдвигаемые для участия в конкурсах.

ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ

Диссертационный совет Д 003.021.01 утвержден при ИДСТУ СО РАН приказом Высшей аттестационной комиссии РФ от 2 ноября 2007 г. № 2249-1522.

Срок полномочий Совета продлен на период действия Номенклатуры специальностей научных работников, учрежденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59, с правом принимать к защите диссертации по специальностям:

01.01.02 – Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление (физико-математические науки);

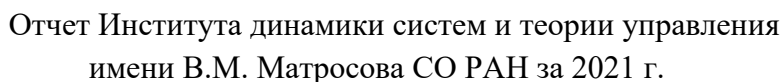
05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в технике, экологии и экономике, физико-математические науки);

05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей (технические науки).

В диссертационном совете в 2021 г. состоялась защита диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей Костроминым Р.О. на тему «Модели, алгоритмы и инструментальные средства поддержки мультиагентного управления потоками вычислительных заданий» (дата защиты – 04.02.2021). Научный руководитель – к.т.н. Феоктистов А.Г.

НАУЧНЫЕ КАДРЫ

По состоянию на 31 декабря 2021 г. в Институте работали 155 человек, из них 82 – научные работники, в том числе 1 действительный член РАН, 1 член-корреспондент РАН, 24 доктора наук и 49 кандидатов наук.



Научные работники	до 39 лет	40–60 лет	61–64 лет	65 лет и старше
Академики	–	1	–	–
Чл.-к. РАН	–	–	–	1
Доктора наук	–	6	2	16
Кандидаты наук	20	23	3	3
Без ученой степени	6	1	–	–
Всего	26	31	5	20

Средний возраст:	докторов наук	– 67,5
	кандидатов наук	– 44,1
	научных работников без степени	– 32,2

Всего в 2021 году (по состоянию на 31.12.2021) в Институте обучалось 8 аспирантов.

Институтом в 2021 году организованы и проведены:

1. Международная конференция «Теория математической оптимизации и исследование операций» (International Conference «Mathematical Optimization Theory and Operations Research», MOTOR-2021), 5-10 июля 2021 года, г. Иркутск, оз. Байкал, ИДСТУ СО РАН, ИММ УрО РАН (смешанный формат).

2. 3-й Международный семинар по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (3rd International Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments, ICCS-DE 2021), 5-9 июля 2021 года, г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН (онлайн формат).

3. 2-й Международный семинар по передовым информационным и вычислительным технологиям и системам (2nd International Workshop on Advanced Information and Computation Technologies and Systems, AICTS 2021), 6-10 декабря 2021 года, г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН (онлайн формат).

4. 37 Всероссийская конференция Ляпуновские чтения, 6–10 декабря 2021 года, г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН.

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 в Институте математики, экономики и информатики Иркутского государственного университета (кафедра Информационных технологий – базовая ИДСТУ СО РАН), ведут преподавательскую работу в Байкальском государственном университете экономики и права, Иркутском национальном исследовательском техническом университете, Иркутском государственном университете путей сообщения, на факультете сервиса и рекламы Иркутского государственного университета, в Бурятском государственном университете.

ЧЛЕНСТВО В СОВЕТАХ РАН И СО РАН

- 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 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, д.т.н. Г.М. Ружников.
- 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.



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.
- Association for Computing Machinery (ACM) – к.т.н. А.Ю. Юрин.
- 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.
- Международная общественная организация «Академия навигации и управления движением» – д.т.н. Э.И. Дружинин, д.ф.-м.н. А.В. Лакеев.
- Российский национальный комитет по автоматическому управлению (РНКАУ) – д.ф.-м.н. Финогенко И.А.
- Бюро Российского Национального Комитета по Автоматическому Управлению – д.ф.-м.н. Лакеев А.В.

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.
- 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.
- 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.
- 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. Феоктистов.
- Современные технологии. Системный анализ. Моделирование – ак. И.В. Бычков.
- Управление большими системами – ак. И.В. Бычков, д.ф.-м.н. А.В. Лакеев.
- Искусственный интеллект и принятие решений – 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 Nonlinear Analysis and Differential Equations – чл.-к. РАН А.А. Толстоногов.
- Journal of Global Optimization (Springer) – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский (приглашенный редактор).
- Сборник Springer серии «Communications in Computer and Information Science» по итогам International Conference, MOTOR 2021 (Irkutsk, Russia, July 5–10, 2021) – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский (приглашенный редактор).
- Сборник Springer серии «Communications in Computer and Information Science» по итогам International Conference, MOTOR 2021 (Irkutsk, Russia, July 5–10, 2021) – к.ф.-м.н. А.В. Орлов (приглашенный редактор).
- Сборник Springer серии «Communications in Computer and Information Science» по итогам International Conference, MOTOR 2021 (Irkutsk, Russia, July 5–10, 2021) – к.ф.-м.н. Т.В. Груздева (приглашенный редактор).
- Numerical Algebra, Control and Optimization, USA – д.т.н. А.Ю. Горнов.
- Chinese Journal of Artificial Intelligence – ак. И.В. Бычков.

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, д.т.н. Г.М. Ружников.
- Координационный совет по развитию цифровой экономики при Правительстве Иркутской области – ак. И.В. Бычков, д.т.н. Ружников Г.М.
- Координационный совет по развитию цифровой экономики при Губернаторе Иркутской области – ак. И.В. Бычков, д.т.н. Ружников Г.М.
- 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 прокуратуре
- 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.
- Научно-консультационный совет при Байкальской межрегиональной природоохранной прокуратуре – ак. И.В. Бычков.
- 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.
- Ассоциация вычислительной техники (Association for Computing Machinery – ACM) – к.т.н. А.Ю. Юрин.

ЭКСПЕРТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

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



МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ И СОВМЕСТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ С ЗАРУБЕЖНЫМИ НАУЧНЫМИ УЧРЕЖДЕНИЯМИ ВЫЕЗД В ЗАРУБЕЖНЫЕ КОМАНДИРОВКИ

В 2021 году сотрудником ИДСТУ СО РАН совершен 1 выезд в зарубежную командировку в Республику Беларусь для участия в работе III Форума ученых государств-участников СНГ.

СОТРУДНИЧЕСТВО С ЗАРУБЕЖНЫМИ НАУЧНЫМИ ЦЕНТРАМИ

Проводились научные исследования:

1) по договору между ИДСТУ СО РАН и представительством компании Huawei в России ООО «Техкомпания Хуавэй» (Huawei Technologies Co. Ltd) на выполнение научно-исследовательской работы «Перераспределение вычислительных ресурсов на платформе Spark», руководитель проекта ведущий научный сотрудник лаборатории 6.1 Невыпуклой оптимизации к.ф.-м.н. И.Л. Васильев;

2) по договору между ИДСТУ СО РАН и представительством компании Huawei в России ООО «Техкомпания Хуавэй» (Huawei Technologies Co. Ltd) на выполнение научно-исследовательской работы «Распознавание образов задач библиотеки GTSlib на основе их общих формулировок MIP», руководитель проекта старший научный сотрудник лаборатории 6.1 Невыпуклой оптимизации к.ф.-м.н. Т.В. Груздева;

3) 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. Д.Н. Сидоров.

В настоящее время ИДСТУ СО РАН имеет 15 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);
- Институтом географии и геоэкологии Академии наук Монголии (Монголия);
- Математички институт Српске академије науке и уметности (Республика Сербия);
- Caton Global Technology Co Ltd (Китай);
- Northwestern Polytechnical University School of Marine Science and Technology – NWPU-SMST (Китай) и Caton Global Technology Co., Ltd (Китай).
- Northwestern Polytechnical University School of Marine Science and Technology – NWPU-SMST (Китай);



- Институтом математики Вьетнамской академии наук и технологий (Вьетнам) и Институтом математики Национального университета Монголии (Монголия);
- Centro de Investigacion Cientifica y de Educacion Superior de Ensenada (CICESE) (Мексика);
- 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.

ПРИЁМ ИНОСТРАННЫХ УЧЁНЫХ

Имя	Страна	Организация, должность	Дата визита	Цель визита
Цзи Джен, Jie Ren	КНР	Техкомпания Хуавэй, главный инженер	27.04.2021- 18.05.2021	Обсуждение вопросов научного сотрудничества между иркутскими учеными и Техкомпанией Хуавэй
Шисинь Сюй, Shixin Xu	КНР	Техкомпания Хуавэй, главный инженер	27.04.2021- 30.04.2021	Обсуждение вопросов научного сотрудничества между иркутскими учеными и Техкомпанией Хуавэй
Ян Ли, Yang Li	КНР	Техкомпания Хуавэй, главный инженер		
Фэн Пан, Feng Pang	КНР	Техкомпания Хуавэй, старший инженер		
Лигоу Чжу, Liguo Zhu	КНР	Техкомпания Хуавэй, главный инженер		
Юйлей Сяо, Yulei Xiao	КНР	Техкомпания Хуавэй, старший инженер		
Шуайтянь Чжао, Shuaitian Zhao	КНР	Техкомпания Хуавэй, старший инженер		
Вэй Хуан, Wei Huang	КНР	Техкомпания Хуавэй, старший инженер		
Вэй Лю, Wei Liu	КНР	Техкомпания Хуавэй, главный инженер		
Синьжун Чжоу, Xinrong Zhou	КНР	Техкомпания Хуавэй, главный инженер		
Хун Чжоу, Hong Zhou	КНР	Российский исследовательский институт Хуавэй, президент		
Синпу Тянь, Xingpu Tian	КНР	Российский исследовательский институт Хуавэй, президент		
Жуй Хоу, Rui Hou	КНР	Российский исследовательский		



Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2021 г.

		институт Хуавэй, вице-президент, директор Московского исследовательского центра	17.08.2021	Обсуждение вопросов научного сотрудничества между иркутскими учеными и Техкомпанией Хуавэй
Чуньпен Сяо, Chungpeng Xiao	КНР	Российский исследовательский институт Хуавэй, директор Новосибирского исследовательского центра		
Синьжун Чжоу, Xinrong Zhou	КНР	Российский исследовательский институт Хуавэй, директор отдела технологического планирования и сотрудничества		
Цзи Джен, Jie Ren	КНР	Российский исследовательский институт Хуавэй, главный инженер		
Цинвень Янь, Qingwen Yan	КНР	Российский исследовательский институт Хуавэй, помощник директора Новосибирского исследовательского центра		
Жуй Гу, Rui Gu	КНР	Российский исследовательский институт Хуавэй, директор отдела сотрудничества и технологического планирования и Московского исследовательского центра		
Хун Суй, Hong Sui	КНР	Российский исследовательский институт Хуавэй, ведущий менеджер по техническому сотрудничеству	13.12.2021- 17.12.2021	Обсуждение вопросов научного сотрудничества между иркутскими учеными и Техкомпанией Хуавэй
Цзи Джен, Jie Ren	КНР	Техкомпания Хуавэй, главный инженер		



ПРОВЕДЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ КОНФЕРЕНЦИЙ

1. Международная конференция «Теория математической оптимизации и исследование операций» (International Conference «Mathematical Optimization Theory and Operations Research», MOTOR-2021), 5-10 июля 2021 года, г. Иркутск, оз. Байкал, ИДСТУ СО РАН, ИММ УрО РАН (смешанный формат).

2. 3-й Международный семинар по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (3rd International Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments, ICCS-DE 2021), 5-9 июля 2021 года, г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН (онлайн формат).

3. 2-й Международный семинар по передовым информационным и вычислительным технологиям и системам (2nd International Workshop on Advanced Information and Computation Technologies and Systems, AICTS 2021), 6-10 декабря 2021 года, г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН (онлайн формат).

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.
- Association for Computing Machinery (ACM) – к.т.н. А.Ю. Юрин.
- 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.
- Международная общественная организация «Академия навигации и управления движением» – д.т.н. Э.И. Дружинин, 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, Defferential 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.
- Numerical Algebra, Control and Optimization, USA – д.т.н. А.Ю. Горнов.



Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2021 г.

- 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.
- «International Journal of Artificial Intelligence» – к.ф.-м.н. И.Л. Васильев (приглашённый редактор).
- «Communications in Computer and Information Science» (Springer) – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский, к.ф.-м.н. А.В. Орлов А.В., к.ф.-м.н. Т.В. Груздева (приглашённые редакторы).



ПЕРЕЧЕНЬ ПУБЛИКАЦИЙ И ПОЛУЧЕННЫХ ПАТЕНТОВ

СТАТЬИ В РОССИЙСКИХ ЖУРНАЛАХ

1. *Rusanov V.A., Daneev A.V., Lakeyev A.V., Linke Yu.É.* An inverse problems for nonlinear evolution equations: Criteria of existence of an invariant polylinear controller for a second-order differential system in a Hilbert space // International Journal of Differential Equations. 2021. Т. 16, № 1. С. 1-10.
2. *Vasilyev I., Ushakov A.V.* Discrete facility location in machine learning // Journal of Applied and Industrial Mathematics. 2021. Т. 15, № 4.
3. *Андреанов А.Н., Аникин А.С., Горнов А.Ю.* Численное исследование задач оптимизации больших размерностей с использованием модификации метода Б.Т. Поляка // Журнал вычисл. математики и матем. физики. 2021. Т. 61, № 7. С. 1059-1069.
4. *Баландин А.Л.* Исследование полей Бельтрами методами интегральной геометрии // Итоги науки и техники. Сер. Современная математика и ее приложения. Тематические обзоры. 2021. Т. 196. С. 3–14.
5. *Банищиков А.В.* Применение компьютерной алгебры для анализа гироскопической стабилизации равновесий орбитального гиростата // Вестник Южно-Уральского гос. ун-та. Сер. Матем. моделирование и программирование. 2021. Т. 14, № 2. С. 70-77.
6. *Батулин В.А., Черемных С.В.* Методы улучшения для задачи оптимального управления многоэтапными процессами // Итоги науки и техники. Сер. Современная математика и ее приложения. Тематические обзоры. 2021. Т. 196. С. 15-27.
7. *Ботороева М.Н., Будникова О.С., Булатов М.В., Орлов С.П.* Численное решение интегро-алгебраических уравнений со слабой граничной особенностью k -шаговыми методами // Журнал вычисл. математики и матем. физики. 2021. Т. 61, № 11. С. 1825-1838.
8. *Бычков И.В., Горский С.А., Еделев А.В., Костромин Р.О., Сидоров И.А., Феоктистов А.Г., Фереферов Е.С., Федоров Р.К.* Поддержка управления живучестью систем энергетики на основе комбинаторного подхода // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2021. Т. 6, № 6. С. 122-135.
9. *Бычков И.В., Горский С.А., Феоктистов А.Г., Костромин Р.О.* Поддержка вычислений в распределенных средах на основе непрерывной интеграции // Информационные технологии. 2021. Т. 27, № 12. С. 619-625.
10. *Бычков И.В., Орлова И.И.* Работа на благо Байкала // Наука и технологии. 2021. № 1. С. 16-19.
11. *Васильев И.Л., Ушаков А.В.* Дискретные задачи размещения в машинном обучении // Дискретный анализ и исследование операций. 2021. Т. 28, № 4. С. 5–60.
12. *Видия А.В., Дородных Н.О., Юрин А.Ю.* Подход к созданию онтологий на основе электронных таблиц с произвольной структурой // Онтология проектирования. 2021. Т. 11, № 2 (40). С. 212-226.
13. *Воскобойников М.Л., Федоров Р.К., Ружников Г.М.* Автоматизация активации устройств интернета вещей на основе классификации геопозиции мобильного устройства // Вычислительные технологии. 2021. Т. 26, № 2. С. 88-97.



14. Данеев А.В., Лакеев А.В., Русанов В.А. К существованию вполне непрерывной дифференциальной реализации билинейной системы второго порядка // Известия Самарского научного центра РАН. 2021. Т. 23, № 4 (102). С. 116-132.
15. Данеев А.В., Лакеев А.В., Русанов В.А., Плеснев П.А. О дифференциально-неавтономном представлении интегративной активности нейропопуляции билинейной моделью второго порядка с запаздыванием // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2021. Т. 23, № 2 (100). С. 115-126.
16. Дородных Н.О., Видия А.В., Юрин А.Ю. Разработка схем онтологий на основе преобразования электронных таблиц // Программные продукты и системы. 2021. № 1. С. 124-131.
17. Дородных Н.О., Юрин А.Ю., Коршунов С.А., Сопн Д.Ю., Шпаченко Д.С. Средства визуального моделирования и генерации кода нечетких продуктов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 1 (21). С. 121-131.
18. Жарков М.Л., Казаков А.Л., Супруновский А.В., Павидис М.М. Моделирование крупнейшей в мире железнодорожной сортировочной станции с использованием теории массового обслуживания // Вестник Уральского гос. ун-та путей сообщения. 2021. Т. 3, № 51. С. 4-14.
19. Жарков М.Л., Павидис М.М. Моделирование сортировочных станций железнодорожной сети методами теории массового обслуживания // Надежность. 2021. Т. 21, № 3. С. 27-34.
20. Жарков М.Л., Супруновский А.В. Моделирование работы вокзального комплекса Иркутск-пассажирский на основе сетей массового обслуживания // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 1 (21). С. 43-53.
21. Зайцев И.А., Стрекаловский А.С. Минимизация DC-функций на простых множествах // Вестник Иркутского университета. 2021. № 24. С. 68-69.
22. Казаков А.Л., Кузнецов П.А., Спевак Л.Ф. О решениях типа бегущей волны для нелинейного уравнения теплопроводности // Итоги науки и техники. Сер. Современная математика и ее приложения. Тематические обзоры. 2021. Т. 196. С. 36-43.
23. Казаков А.Л., Кузнецов П.А., Спевак Л.Ф. Построение решений краевой задачи с вырождением для нелинейной параболической системы // Сибирский журнал индустриальной математики. 2021. Т. 24, № 4 (88). С. 64-78.
24. Казаков А.Л., Лемперт А.А. О построении маршрутов в динамической среде с использованием решений уравнения Эйконала // Известия Института математики и информатики Удмуртского гос. ун-та. 2021. Т. 58. С. 59-72.
25. Казаков А.Л., Павидис М.М. Мировой опыт работы железнодорожных сортировочных станций: современное состояние, тенденции и перспективы // Вестник Сибирского гос. ун-та путей сообщения. 2021. Т. 1, № 56. С. 28-37.
26. Казаков А.Л., Спевак Л.Ф. О точных и приближенных решениях задачи с особенностью для уравнения конвекции-диффузии // Прикладная механика и техническая физика. 2021. Т. 62, № 1 (365). С. 22-31.
27. Казаков А.Л., Спевак Л.Ф. Точные и приближенные решения вырождающейся системы реакция-диффузия // Прикладная механика и техническая физика. 2021. Т. 62, № 4 (368). С. 169-180.



28. Казаков А.Л., Спевак Л.Ф. О построении тепловой волны, порожденной краевым режимом на подвижной границе // *Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures*. 2021. № 6.
29. Казаков А.Л., Спевак Л.Ф. Существование и построение тепловой волны, порожденной краевым режимом на подвижной границе // *Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures*. 2021. № 6.
30. Косов А.А. О сохранении устойчивости равновесия нелинейных осцилляторов при консервативных возмущениях // *Журнал Средневолжского математического общества*. 2021. Т. 23, № 3. С. 285-294.
31. Косов А.А. Об устойчивости взаимосвязанных нелинейных осцилляторов // *Итоги науки и техники. Сер. Современная математика и ее приложения. Тематические обзоры*. 2021. Т. 196. С. 44-49.
32. Косов А.А., Семенов Э.И. О существовании периодических решений одной нелинейной системы параболических уравнений четвертого порядка // *Итоги науки и техники. Сер. Современная математика и ее приложения. Тематические обзоры*. 2021. Т. 196. С. 98-104.
33. Косов А.А., Семенов Э.И., Тирских В.В. О точных многомерных решениях одной нелинейной системы гиперболических уравнений четвертого порядка // *Сибирский журнал индустриальной математики*. 2021. Т. 24, № 2 (86). С. 77-86.
34. Костромин Р.О. Сравнительный обзор средств управления конфигурациями ресурсов вычислительной среды функционирования цифровых двойников // *Информационные и математические технологии в науке и управлении*. 2021. № 1 (21). С. 132-145.
35. Лакеев А.В., Русанов В.А., Банищikov А.В. К тензорному анализу разрешимости задачи реализации билинейной системы второго порядка с запаздыванием // *Проблемы управления и информатики*. 2021. № 2. С. 79-92.
36. Лебедев П.Д., Казаков А.Л. Итерационные алгоритмы построения наилучших покрытий выпуклых многогранников наборами различных шаров // *Труды института математики и механики УрО РАН*. 2021. Т. 27, № 1. С. 116-129.
37. Марков Ю.А., Маркова М.А., Бондаренко А.И. Алгебраический подход к построению волнового уравнения для частиц со спином $3/2$ // *Итоги науки и техники. Сер. Современная математика и ее приложения. Тематические обзоры*. 2021. Т. 196. С. 50-65.
38. Новиков М.А. Об устойчивости одного перманентного вращения в окрестности равенства Аппельрота // *Известия Российской академии наук. Механика твердого тела*. 2021. № 4. С. 44-51.
39. Носков С.И., Лакеев А.В. РС-решения и квазирешения интервальной системы линейных алгебраических уравнений // *Вестник Санкт-Петербургского ун-та. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления*. 2021. Т. 17, № 3. С. 262-276.
40. Петренко П.С. К вопросу о разрешимости вырожденной гибридной системы // *Итоги науки и техники. Сер. Современная математика и ее приложения. Тематические обзоры*. 2021. Т. 196. С. 90-97.
41. Семенов А.А., Антонов К.В., Грибанова И.А. Порождение дополнительных ограничений в задачах алгебраического криптоанализа при помощи SAT-оракулов // *Прикладная дискретная математика. Приложение*. 2021. № 14. С. 104-110.



42. *Сорокин С.П.* Позиционное условие оптимальности для невыпуклой дискретной динамической линейно-квадратичной задачи // *System Analysis & Mathematical Modeling*. 2021. Т. 3, № 3. С. 169-175.
43. *Столбов А.Б., Лемперт А.А.* Программное средство онтологического проектирования для сценарного моделирования водных ресурсов Приангарья // *Наукосфера*. 2021. № 2-2. С. 76-81.
44. *Столбов А.Б., Лемперт А.А.* О подходе к интервьюированию экспертов для реализации идеализированного эксперимента при формировании математических моделей сложных объектов // *Дневник науки*. 2021. № 8 (56).
45. *Стрекаловский А.С.* Элементы глобального поиска в общей задаче d.c. оптимизации // *Итоги науки и техники. Сер. Современная математика и ее приложения. Тематические обзоры*. 2021. Т. 196. С. 114-127.
46. *Толстоногов А.А.* Максимальная монотонность оператора Немыцкого // *Функциональный анализ и его приложения*. 2021. Т. 55, № 3. С. 51-61.
47. *Толстоногов А.А.* Мнозначный оператор с наследственностью и неявные эволюционные включения. II // *Сибирский математический журнал*. 2021. Т. 62, № 4. С. 917-935.
48. *Толстоногов А.А.* Мнозначный оператор с наследственностью и неявные эволюционные включения. I // *Сибирский математический журнал*. 2021. Т. 62, № 3. С. 668-678.
49. *Тятюшкин А.И.* Многометодная оптимизация управления в сложных прикладных задачах // *Journal Sciences of Europe*. 2021. Т. 80, № 1. С. 12-19.
50. *Тятюшкин А.И.* Оптимизация управляющих параметров // *Journal Sciences of Europe*. 2021. Т. 67, № 1. С. 26-30.
51. *Федорова В.Р., Пармонов В.В.* Унификация адреса на основе методов NLP // *Вестник Иркутского университета*. 2021. № 24. С. 77-78.
52. *Феоктистов А.Г., Костромин Р.О., Сидоров И.А., Горский С.А., Башарина О.Ю.* Цифровые двойники процессов работы природосберегающего оборудования инфраструктурного объекта // *Современные наукоемкие технологии*. 2021. № 1. С. 57-62.
53. *Федоров Р.К., Бычков И.В., Ружников Г.М.* Формирование композиций сервисов на основе статистических данных пользователей // *Вестник Новосибирского гос. ун-та. Сер. Информ. технологии*. 2021. Т. 19, № 2. С. 115-130.
54. *Черных А.Н., Бычков И.В., Феоктистов А.Г., Горский С.А., Сидоров И.А., Костромин Р.О., Еделев А.В., Зоркальцев В.И., Аветисян А.И.* Смягчение неопределенности при разработке научных приложений в интегрированной среде // *Труды Института системного программирования РАН*. 2021. Т. 33, № 1. С. 151-172.
55. *Чистякова Е.В., Соловарова Л.С., Доан Тай Сон.* Об одном методе численного решения вырожденных интегро-дифференциальных уравнений со слабой особенностью в ядре // *Вестник Южно-Уральского гос. ун-та. Сер. Вычисл. математика и информатика*. 2021. Т. 10, № 3. С. 5-15.
56. *Щеглова А.А.* К вопросу о сверхустойчивости интервального семейства дифференциально-алгебраических уравнений // *Автоматика и телемеханика*. 2021. № 2. С. 55-70.



57. Щеглова А.А. Об исключении импульсных слагаемых в решении дифференциально-алгебраических уравнений с помощью обратной связи // Дифференциальные уравнения. 2021. Т. 57, № 1. С. 43-60.
58. Щеглова А.А. Обратная связь и импульсное поведение дифференциально-алгебраических уравнений // Математические заметки. 2021. Т. 110, № 4. С. 610-629.

СТАТЬИ В ЗАРУБЕЖНЫХ И ПЕРЕВОДНЫХ ЖУРНАЛАХ

59. Avramenko Y.V., Popova A.K., Fedorov R.K. Sentinel-2 data classifications for the Baikal natural area // Proc. of SPIE: 27th Intern. Symposium on Atmospheric and Ocean Optics (Moscow, 5–9 July 2021). 2021. Vol. 11916. P. 302-305.
60. Avramenko Y.V., Popova A.K., Fedorov R.K. Cloud service of Geoportal ISDCT SB RAS for machine learning // CEUR Workshop Proceedings: 4th Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2021; Irkutsk, 14 September 2021). 2021. Vol. 2984. P. 6-10.
61. Balandin A.L. The Funk-Hecke type relations and ray transforms for the vector spherical wave functions // Mathematical Methods in the Applied Sciences. 2021.
62. Banshchikov A.V. Application of computer algebra for analysis of gyroscopic stabilization of equilibriums of orbital gyrostet // Bulletin of the South Ural State University. Series- Mathematical Modelling Programming & Computer Software. 2021. Vol. 14, № 2.
63. Barkova M.V., Strekalovskiy A.S. Computational Study of Local Search Methods for a D.C. Optimization Problem with Inequality Constraints // Lecture Notes in Computer Science: 12th Intern. Conf. Optimization and Applications (OPTIMA 2021; Petrovac, Montenegro, September 27 – October 1, 2021). 2021. Vol. 13078. P. 94-109.
64. Barkova M.V., Gruzdeva T.V. Constructing Test Sum-of-Ratios Problems and Their Solution by D.C. Programming Approach // Intern. Journal of Artificial Intelligence. 2021. Vol. 19, № 2. P. 230-243.
65. Baturin V.A., Sizykh V.N. Approximate methods of the solution of an optimal control problem on an operators network // Journal of Physics. Conference Series: Multiconference on Control Problems (MCCP 2020, 6-8 October 2020). 2021. Vol. 1864, № 1.
66. Berman A., Nikolaychuk O., Pavlov A., Yurin A. A Module for Industrial Safety Inspection Planning Based on Self-organization // Lecture Notes in Computer Science: 19th Russian Conf. on Artificial Intelligence (RCAI 2021; Taganrog, 11-16 October 2021). 2021. Vol. 12948. P. 365-379.
67. Blaschke D., Friesen A.V., Kalinovskiy Y.L., Radzhabov A.E. Mott Dissociation and Kaon to Pion Ratio in the EPNJL Model // Physics of Particles and Nuclei. 2021. Vol. 52, № 4. P. 609-614.
68. Botoroeva M.N., Budnikova O.S., Bulatov M.V., Orlov S.S. Numerical Solution of Integral-Algebraic Equations with a Weak Boundary Singularity by k-step Methods // Journal Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2021. Vol. 61, № 11. P. 1787–1799.
69. Bychkov I., Feoktistov A., Gorsky S., Kostromin R. Agent-based Intellectualization of Continuous Software Integration and Resource Configuration for Distributed Computing //



- IEEE: 2021 Intern. Conf. on Information Technology and Nanotechnology (ITNT). 2021. P. 1-8.
70. Bychkov I., Kazakov A., Lempert A., Zharkov M. Modeling of railway stations based on queuing networks // *Applied Sciences (Switzerland)*. 2021. Vol. 11, № 5.
71. Bychkov I., Tchernykh A., Feoktistov A. Preface // *CEUR Workshop Proceedings: 3rd Intern. Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (ICCS-DE 2021; Irkutsk, 5-9 July 2021)*. 2021. Vol. 2913.
72. Bychkov I., Ulyanov S., Nagul N., Davydov A., Kenzin M., Maksimkin N. Hierarchical event-based control of multi-robot systems in unstructured environments // *Journal of Physics. Conference Series: Multiconference on Control Problems (MCCP 2020; 6-8 October 2020)*. 2021. Vol. 1864, № 1.
73. Bychkov I.V., Gorsky S.A., Kostromin R.O., Sidorov I.A., Feoktistov A.G., Fereferov E.S., Fedorov R.K., Edelev A.V. Support for managing the survivability of energy systems based on a combinatorial approach // *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2021. Vol. 60, № 6. P. 981-994.
74. Bychkov I.V., Paramonov V.V., Ruzhnikov G.M., Mikhailov A.A., Fedorov R.K., Klyuchevskii A.V., Dem'yanovich V.M., Demberel S. Russian-Mongolian scientific initiative for assessing the seismic hazards of the Baikal region and Mongolia // *CEUR Workshop Proceedings: 4th Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2021; Irkutsk, 14 September 2021)*. 2021. Vol. 2984. P. 112-119.
75. Bychkov I.V., Ruzhnikov G.M., Fedorov R.K., Popova A.K. Digital technologies for forest monitoring in the Baikal natural territory // *CEUR Workshop Proceedings: 4th Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2021; Irkutsk, 14 September 2021)*. 2021. Vol. 2984. P. 1-5.
76. Bychkov I.V., Ruzhnikov G.M., Fedorov R.K., Popova A.K. Digital platform for forest resources monitoring in the BAIKAL natural territory // *Journal of Physics. Conference Series: 13th Multiconference on Control Problems (MCCP 2020; 6-8 October 2020)*. 2021. Vol. 1864, № 1.
77. Bychkov I.V., Yurin A.Yu. A method and tools for prototyping components of intelligent systems based on transformations // *Journal of Physics. Conference Series: Multiconference on Control Problems (MCCP 2020; 6-8 October 2020)*. 2021. Vol. 1864, № 1.
78. Chen B., Timoshin S.A. Optimal Control of a Population Dynamics Model with Hysteresis // *Acta Mathematica Scientia*. 2021.
79. Chen Z., Xu H., Jiang P., Yu S., Lin G., Bychkov I., Hmel'nov A., Ruzhnikov G., Zhu N., Liu Z. A transfer Learning-Based LSTM strategy for imputing Large-Scale consecutive missing data and its application in a water quality prediction system // *Journal of Hydrology*. 2021. Vol. 602.
80. Cherkashin E.A., Lunina O.V., Demyanov L.O., Tsygankov A.V. Web-GIS viewer for active faults data represented as a knowledge graph // *CEUR Workshop Proceedings: 4th Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2021; Irkutsk, 14 September 2021)*. 2021. Vol. 2984. P. 55-65.
81. Cherkashin E.A., Shigarov A.O. Construction techniques of Baikal microbiome research information-computational environment // *CEUR Workshop Proceedings: 1st Intern. Workshop on Advanced Information and Computation Technologies and Systems (AICTS 2020; Irkutsk, 7-11 December 2020)*. 2021. Vol. 2858. P. 24-33.



82. *Daneev A.V., Lakeev A.V., Rusanov V.A., Plesnev P.A.* Differential Non-autonomous Representation of the Integrative Activity of a Neural Population by a Bilinear Second-Order Model with Delay // Lecture Notes in Networks and Systems: 5th Intern Virtual Conf. and 6th Intern. Conf. on Human Interaction and Emerging Technologies: Future Systems (IHET-FS 2021 Virtual, 27-29 August 2021). 2022. Vol. 319. P. 191-199.
83. *Danilov V.A., Daneev A.V., Rusanov V.A.* A new look at some facts of number theory: alternate divisibility when constructing simple solutions to problems of arithmetic // JP Journal of Algebra Number Theory and Applications. 2021. Vol. 51, № 2. P. 125-143.
84. *Davydov A., Larionov A., Nagul N.* Application of the PCF calculus for solving the problem of nonblocking supervisory control of discrete event systems // Journal of Physics. Conference Series: Multiconference on Control Problems (MCCP 2020; 6-8 October 2020). 2021. Vol. 1864, № 1.
85. *Davydov A., Larionov A., Nagul N.* Positively Constructed Formulas-Based Approach to Mobile Robot Control Using DES // Theoretical Computer Science and General Issues: 12th Intern. Conf. Optimization and Applications (OPTIMA 2021; Petrovac, Montenegro, September 27 – October 1, 2021). 2021. P. 1064-1069.
86. *Davydov A., Larionov A., Nagul N.* Modular discrete event systems control based on logic inference // CEUR Workshop Proceedings: 3rd Intern. Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (ICCS-DE 2021; Irkutsk, 5-9 July 2021). 2021. Vol. 2913. P. 32-46.
87. *Dorodnykh N.O., Kotlov Y.V., Nikolaychuk O.A., Popov V.M., Yurin A.Y.* End-user development of knowledge bases for semi-automated formation of task cards // CEUR Workshop Proceedings: 3rd Intern. Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (ICCS-DE 2021; Irkutsk, 5-9 July 2021). 2021. Vol. 2913. P. 60-73.
88. *Dorodnykh N.O., Nikolaychuk O.A., Yurin A.Y.* Using UML class diagrams for content ontology design patterns engineering // Journal of Physics. Conference Series: Intern. Scientific Conf. Artificial Intelligence and Digital Technologies in Technical Systems (AIDTTS 2020; Volgograd, 20-21 October 2020). 2021. Vol. 1801, № 1.
89. *Dorodnykh N.O., Yurin A.Y.* TabbyLD: A Tool for Semantic Interpretation of Spreadsheets Data // Communications in Computer and Information Science: 7th Intern. Conf. on Modelling and Development of Intelligent Systems (MDIS 2020; Sibiu; Romania; 22-24 October 2020). 2021. Vol. 1341. P. 315-333.
90. *Dorodnykh N.O., Yurin A.Y.* An RVML extension for modeling fuzzy rule bases // CEUR Workshop Proceedings: 1st International Workshop on Advanced Information and Computation Technologies and Systems (AICTS 2020; Irkutsk, 7-11 December 2020). 2021. Vol. 2858. P. 34-45.
91. *Edelev A.V., Marchenko M.A., Basharina O.Yu.* Identification of the energy system critical elements using the PARMONC library // Journal of Physics. Conference Series. 2021. Vol. 1715. P. 012064.
92. *Feoktistov A., Kostromin R., Gorsky S., Bychkov I., Tchernykh A., Basharina O.* Algorithms for Planning on Computational Model with Redundancy and Uncertainty // Programming and Computer Software. 2021. Vol. 47, № 8. P. 601-614.



93. *Feoktistov A.G., Kostromin R.O., Basharina O.Yu., Tchernykh A., Dmitriev V.I.* Agent-based approach to hybrid modeling queuing systems // CEUR Workshop Proceedings: 1st Intern. Workshop on Advanced Information and Computation Technologies and Systems (AICTS 2020; Irkutsk, 7-11 December 2020). 2021. Vol. 2858. P. 46-56.
94. *Gercekovich D.A., Basharina O.Yu., Shilnikova I.S., Gorbachevskaya E.Yu., Gorsky S.A.* Information and algorithmic support of a multi-level integrated system for the investment strategies formation // CEUR Workshop Proceedings: 3rd Intern. Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (ICCS-DE 2021; Irkutsk, 5-9 July 2021). 2021. Vol. 2913. P. 74-84.
95. *Gornov A. Yu., Anikin A. S., Andrianov A. N.* Numerical Study of High-Dimensional Optimization Problems Using a Modification of Polyak's Method // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2021. Vol. 61. P. 1053–1062.
96. *Gorsky S.A., Feoktistov A.G.* Static-dynamic algorithm for managing asynchronous computations in distributed environments // CEUR Workshop Proceedings: 1st Intern. Workshop on Advanced Information and Computation Technologies and Systems (AICTS 2020; Irkutsk, 7-11 December 2020). 2021. Vol. 2858. P. 64-73.
97. *Gruzdeva T.V., Khamisov O.V.* On Search for All Roots of a System of Quadratic Equations // Lecture Notes in Computer Science: 12th Intern. Conf. Optimization and Applications (OPTIMA 2021; Petrovac, Montenegro, September 27 – October 1, 2021). 2021. Vol. 13078. P. 110-120.
98. *Gruzdeva T.V., Ushakov A.V.* K-Means Clustering via a Nonconvex Optimization Approach // Lecture Notes in Computer Science: 20th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2021; Irkutsk, 5-10 July 2021). 2021. Vol. 12755. P. 462-476.
99. *Gruzdeva T.V., Ushakov A.V.* A Computational Study of the DC Minimization Global Optimality Conditions Applied to K-Means Clustering // Lecture Notes in Computer Science: 12th Intern. Conf. Optimization and Applications (OPTIMA 2021; Petrovac, Montenegro, September 27 – October 1, 2021). 2021. Vol. 13078. P. 79-93.
100. *Hmelnov A., Ruzhnikov G., Li T., Xu H.* An approach to information export from database for complex master-detail table hierarchies into a single flat table form // CEUR Workshop Proceedings: 1st Intern. Workshop on Advanced Information and Computation Technologies and Systems (AICTS 2020; Irkutsk, 7-11 December 2020). 2021. Vol. 2858. P. 74-82.
101. *Hmelnov A.E., Gachenko A.S., Ruzhnikov G.M.* Construction of Nearshore Underwater Terrain Model by Coastline Detection on Open Satellite Images for Different Water Levels // Proceedings of SPIE: 27th Intern. Symposium on Atmospheric and Ocean Optics (Moscow, 5–9 July 2021). 2021. Vol. 11916. P. 306-310.
102. *Hmelnov A.E., Gachenko A.S.* Construction of nearshore elevation model using open satellite data // CEUR Workshop Proceedings: All-Russian Conf. with Intern. Participation «Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes» (SDM-2021; Novosibirsk, 24-27 August 2021). 2021. Vol. 3006. P. 95-107.
103. *Irtegov V., Titorenko T.* On First Integrals and Invariant Manifolds in the Generalized Problem of the Motion of a Rigid Body in a Magnetic Field // Lecture Notes in Computer Science: 23rd



- Intern. Workshop on Computer Algebra in Scientific Computing (CASC 2021; Sochi, 13-17 September 2021). 2021. Vol. 12865. P. 157-173.
104. *Jiang P., Bychkov I., Liu J., Hmelnov A.* Predicting of air pollutant concentrations based on spatio-temporal attention convolutional LSTM networks // CEUR Workshop Proceedings: 1st Intern. Workshop on Advanced Information and Computation Technologies and Systems (AICTS 2020; Irkutsk, 7-11 December 2020). 2021. Vol. 2858. P. 83-90.
105. *Jiang P., Bychkov I., Liu J., Li T., Hmelnov A.* Traffic flow prediction for vehicle emission calculation based on graph convolutional networks // CEUR Workshop Proceedings: 1st Intern. Workshop on Advanced Information and Computation Technologies and Systems (AICTS 2020; Irkutsk, 7-11 December 2020). 2021. Vol. 2858. P. 91-99.
106. *Kazakov A.* Solutions to Nonlinear Evolutionary Parabolic Equations of the Diffusion Wave Type // Symmetry-Basel. 2021. Vol. 13, № 5.
107. *Kazakov A., Kuznetsov P.* Analytical diffusion wave-type solutions to a nonlinear parabolic system with cylindrical and spherical symmetry // The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Mathematics. 2021. Vol. 37. P. 31-46.
108. *Kazakov A.L., Kuznetsov P.A., Spevak L.F.* Construction of solutions to the boundary value problem with singularity for a nonlinear parabolic system // Journal of Applied and Industrial Mathematics. 2021. Vol. 24, № 4. P. 64–78.
109. *Kazakov A.L., Lempert A.A.* On the route construction in changing environments using solutions of the eikonal equation // Izvestiya Instituta Matematiki i Informatiki Udmurtskogo Gos. Universiteta. 2021. Vol. 58. P. 59–72.
110. *Kazakov A.L., Lempert A.A., Spevak L.F.* On an exact solution to the nonlinear heat equation with a source // Journal of Physics. Conference Series. Dynamic Systems and Computer Science: Theory and Applications (DYSC 2020; 19-22 October 2020). 2021. Vol. 1847, № 115.
111. *Kazakov A.L., Spevak L.F.* Exact and approximate solutions of a problem with a singularity for a convection-diffusion equation // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2021. Vol. 62, № 1. P. 18-26.
112. *Kazakov A.L., Spevak L.F.* Exact and approximate solutions of a degenerate reaction-diffusion system // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2021. Vol. 62, № 4. P. 673-683.
113. *Kenzin M., Bychkov I., Maksimkin N.* Emergency broadcasting strategies for distributed robotic groups under limited communication // Journal of Physics. Conference Series: Multiconference on Control Problems (MCCP 2020; 6-8 October 2020). 2021. Vol. 1864, № 1.
114. *Kochemazov S.* Analysis of comparative effectiveness of state-of-the-art heuristics for CDCL SAT solvers // CEUR Workshop Proceedings: 1st Intern. Workshop on Advanced Information and Computation Technologies and Systems (AICTS 2020; Irkutsk, 7-11 December 2020). 2021. Vol. 2858. P. 100-107.
115. *Kochemazov S.* Exploring the Limits of Problem-Specific Adaptations of SAT Solvers in SAT-Based Cryptanalysis // Communications in Computer and Information Science: 15th Intern. Conf. on Parallel Computational Technologies (PCT 2021; 30 March - 1 April 2021). 2021. Vol. 1437. P. 149-163.



116. *Kosov A.A., Semenov E.I.* Distributed model of space exploration by two types of interacting robots and its exact solutions // Journal of Physics. Conference Series: 2020 Dynamic Systems and Computer Science: Theory and Applications (DYSC 2020; 19-22 October 2020). 2021. Vol. 1847, № 1.
117. *Kosov A.A., Semenov E.I., Tirskikh V.V.* On Exact Multidimensional Solutions to a Nonlinear System of Fourth-Order Hyperbolic Equations // Journal of Applied and Industrial Mathematics. 2021. Vol. 15, № 2. P. 253-260.
118. *Kostromin R., Basharina O., Feoktistov A., Sidorov I.* Microservice-based approach to simulating environmentally friendly equipment of infrastructure objects taking into account meteorological data // Atmosphere. 2021. Vol. 12, № 9.
119. *Kostromin R., Feoktistov A., Voskoboinikov M.* Service-oriented tools for automating digital twin development // CEUR Workshop Proceedings: 4th Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2021; Irkutsk, 14 September 2021). 2021. Vol. 2984. P. 95-100.
120. *Kotlov Yu.V., Popov V.M., Yurin A.Yu.* Towards designing knowledge bases for aircraft malfunctions diagnostics based on model transformations // Journal of Physics. Conference Series: Artificial Intelligence and Digital Technologies in Technical Systems II-2021. 2021. 2060: 012016.
121. *Kryukov A., Bychkov I., Korosteleva E., Mikhailov A., Nguyen M.-D.* Cloud storage capable to select events upon user request for medium-sized astrophysical experiments // Journal of Physics. Conference Series: 4th Intern. Conf. on Computer Simulation in Physics and Beyond (CSP 2020; Moscow; 12-16 October 2020). 2021.
122. *Lebedev P.D., Kazakov A.L.* Iterative algorithms for constructing the thinnest coverings of convex polyhedra by sets of different balls // Trudy Instituta Matematiki i Mekhaniki URO RAN. 2021. Vol. 27, № 1. P. 116-129.
123. *Lee M.G., Zhang L.P., Li Z.C., Kazakov A.L.* Dual null field method for Dirichlet problems of Laplace's equation in circular domains with circular holes // Siberian Electronic Mathematical Reports-Sibirskie Elektronnye Matematicheskie Izvestiya. 2021. Vol. 18, № 1. P. 393-422.
124. *Lempert A.A., Kazakov A.L., Ta T.T.* On the Problem of Covering a Convex Set by Equal balls in a Three-dimensional Space with a non-Euclidean Metric // Intern. Journal of Artificial Intelligence. 2021. Vol. 19, № 2. P. 218-229.
125. *Li Zi.C., Huang H.Ts., Zhang Li.P., Lempert A., Lee M.G.* Analysis of dual null field methods for Dirichlet problems of Laplace's equation in elliptic domains with elliptic holes: bypassing degenerate scale // The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Mathematics. 2021. Vol. 37. P. 47-62.
126. *Lyubovitskij V.E., Wunder F., Zhevlakov A.S.* New ideas for handling of loop and angular integrals in D-dimensions in QCD // Journal of High Energy Physics. 2021. Vol. 2021, № 6.
127. *Maltugueva N., Pogodaev N.* Modeling of crowds in regions with moving obstacles // Discrete and Continuous Dynamical Systems. Series A. 2021. Vol. 41, № 14. P. 5009-5036.
128. *Maltugueva N., Pogodaev N., Samsonyuk O.* Optimization of impulsive control systems with intermediate state constraints // The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Mathematics. 2021. Vol. 35. P. 18-33.



129. *Markov Yu.A., Markova M.A.* Star Product for Para-Grassmann Algebra of Order Two // *Advances in Applied Clifford Algebras*. 2021. Vol. 31, № 2.
130. *Maslovskiy A., Pasechnyuk D., Gasnikov A., Anikin A., Rogozin A., Gornov A., Antonov L., Vlasov R., Nikolaeva A., Begicheva M.* Non-convex Optimization in Digital Pre-distortion of the Signal // *Communications in Computer and Information Science: 20th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2021; Virtual, Online, 5-10 July 2021)*. 2021. Vol. 1476. P. 54-70.
131. *Mikhailov A.A., Shigarov A., Kozlov I.S.* PyTabby: A Docreader's module for extracting text and tables from PDF with a text layer // *CEUR Workshop Proceedings: 4th Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2021, Irkutsk, 14 September 2021)*. 2021. Vol. 2984. P. 120-126.
132. *Nikolaychuk O.A., Pavlov A.I., Stolbov A.B.* The identification of unique mechanical systems state based on agent-based simulation modelling // *Journal of Physics. Conference Series: Intern. Scientific Conf. Artificial Intelligence and Digital Technologies in Technical Systems (AIDTTS 2020; Volgograd, 20-21 October 2020)*. 2021. Vol. 1801, № 1.
133. *Noskov S.I., Lakeyev A.V.* PC-solutions and quasi-solutions of the interval system of linear algebraic equations // *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta. Seriya 10: Prikladnaya Matematika Informatika Protsessy Upravleniya*. 2021. Vol. 17, № 3. P. 262-276.
134. *Novikov M.A.* On the Stability of One Permanent Rotation in a Neighborhood of the Appelroth Equality // *Mechanics of Solids*. 2021. Vol. 56, № 4. P. 478-484.
135. *Oparin G.A., Bogdanova V.G., Pashinin A.A.* A logical method for the synthesis of periodic trajectory in a binary dynamical system // *CEUR Workshop Proceedings: 3rd Intern. Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (ICCS-DE 2021, Irkutsk, 5-9 July 2021)*. 2021. Vol. 2913. P. 119-128.
136. *Oparin G.A., Bogdanova V.G., Pashinin A.A.* Service-oriented Application for Solving Parametric Synthesis Problem of a Boolean Network with Given Dynamic Properties // *Proc. of the 44th Intern. Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO, September 27 – October 1, 2021, Opatija, Croatia)*. 2021. P. 242–247.
137. *Oparin G.A., Bogdanova V.G., Pashinin A.A.* Classification in binary feature space using logical dynamic models // *Proc. of the 44th Intern. Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO, September 27 – October 1, 2021, Opatija, Croatia, IEEE- 2021)*. 2021. P. 1020–1025.
138. *Oparin G.A., Bogdanova V.G., Pashinin A.A.* Application of binary dynamical systems in the problem of classification of Boolean vectors // *CEUR Workshop Proceedings: 1st Intern. Workshop on Advanced Information and Computation Technologies and Systems (AICTS 2020, Irkutsk, 7-11 December 2020)*. 2021. Vol. 2858. P. 127-134.
139. *Oparin G.A., Bogdanova V.G., Pashinin A.A.* Investigation of observability property of controlled binary dynamical systems: A logical approach // *CEUR Workshop Proceedings: 3rd Intern. Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (ICCS-DE 2021, Irkutsk, 5-9 July 2021)*. 2021. Vol. 2913. P. 129-138.
140. *Orlov A.V.* On Solving Bilevel Optimization Problems with a Nonconvex Lower Level: The Case of a Bimatrix Game // *Lecture Notes in Computer Science: 20th Intern. Conf. on*



- Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2021, Irkutsk, 5-10 July 2021). 2021. Vol. 12755. P. 235-249.
141. *Paramonov V., Shigarov A., Vetrova V.* Rule Driven Spreadsheet Data Extraction from Statistical Tables: Case Study // Communications in Computer and Information Science: 27th Intern. Conf. on Information and Software Technologies (ICIST 2021, Kaunas, 14-16 October 2021). 2021. Vol. 1486. P. 84-95.
142. *Pardalos P., Khachay M., Kazakov A.* Preface // Lecture Notes in Computer Science: 20th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2021, Irkutsk, 5-10 July 2021). 2021. Vol. 12755.
143. *Pashinin A.A., Bogdanova V.G.* Application of user dew agent in hybrid-computing environments // CEUR Workshop Proceedings: 1st Intern. Workshop on Advanced Information and Computation Technologies and Systems (AICTS 2020, Irkutsk, 7-11 December 2020). 2021. Vol. 2858. P. 135-145.
144. *Pavlov A.I., Stolbov A.B., Lempert A.A.* Towards extensibility features of knowledge-based systems development platform // CEUR Workshop Proceedings: 4th Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2021, Irkutsk, 14 September 2021). 2021. Vol. 2984. P. 87-94.
145. *Popova A.K.* Estimation of water quality parameters from space images // CEUR Workshop Proceedings: 1st Intern. Workshop on Advanced Information and Computation Technologies and Systems (AICTS 2020, Irkutsk, 7-11 December 2020). 2021. Vol. 2858. P. 146-151.
146. *Rukavishnikov V.S., Efimova N.V., Paramonov V.V., Fedorov R.K.* Service-Oriented Environment for Modelling of the Air Pollution Impact on Population Health // Proceedings of SPIE: 27th Intern. Symposium on Atmospheric and Ocean Optics (Moscow, 5–9 July 2021). 2021. Vol. 11916. P. 305.
147. *Rusanov V.A., Agafonov S.V., Daneev A.V., Gubanov I.A.* On the Regression-Tensor Analysis of the Hardening Process of Metal Coatings // Journal of Applied Mathematics and Physics. 2021. № 9. P. 1639-1651.
148. *Rusanov V.A., Daneev A.V., Lakeyev A.V., Linke Y.E.* Precision calibration of a differential-matrix model of resonant oscillations of the super-extended building construction // Advances in Differential Equations and Control Processes. 2021. Vol. 24, № 2. P. 199-216.
149. *Semenov A., Otpuschennikov I., Antonov K.* On Some Variants of the Merging Variables Based (1+1)-Evolutionary Algorithm with Application to MaxSAT Problem // Lecture Notes in Computer Science: 20th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2021, Irkutsk, 5-10 July 2021). 2021. Vol. 12755.
150. *Semenov A., Zaikin O., Kochemazov S.* Finding Effective SAT Partitionings Via Black-Box Optimization // Springer Optimization and Its Applications. 2021. Vol. 170. P. 319 - 355.
151. *Shcheglova A.A.* Feedback Elimination of Impulse Terms from the Solutions of Differential-Algebraic Equations // Differential Equations. 2021. Vol. 57. P. 41-59.
152. *Shcheglova A.A.* On the Superstability of an Interval Family of Differential-Algebraic Equations // Automation and Remote Control. 2021. Vol. 82, № 2. P. 232-244.
153. *Shcheglova A.A.* Feedback and impulse behavior of differential-algebraic equations // Mathematical Notes. 2021. Vol. 110, № 3-4. P. 592-608.



154. *Shigarov A., Dorodnykh N., Mikhailov A., Paramonov V., Yurin A.* Table extraction, analysis, and interpretation: The current state of the TabbyDOC project // CEUR Workshop Proceedings: 4th Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2021, Irkutsk, 14 September 2021). 2021. Vol. 2984. P. 11-22.
155. *Shigarov A., Dorodnykh N., Yurin A., Mikhailov A., Paramonov V.* From web-tables to a knowledge graph: Prospects of an end-to-end solution // CEUR Workshop Proceedings: 4th Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2021, Irkutsk, 14 September 2021). 2021. Vol. 2984. P. 23-33.
156. *Solodusha S., Bulatov M.* Integral equations related to Volterra series and inverse problems: Elements of theory and applications in heat power engineering // Mathematics. 2021. Vol. 9, № 16.
157. *Sorokovikov P., Gornov A.* Combined non-convex optimization algorithms based on differential evolution, harmony search, firefly, and L-bfgs methods // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (IWMMA-2020, Krasnoyarsk, 20–21 November 2020). 2021. P. 12077.
158. *Sorokovikov P., Gornov A., Strelnikov A.* Algorithm for the Numerical Solution of Optimal Control Problems in Robotic Systems // Lecture Notes in Computer Science: 12th Intern. Conf. Optimization and Applications (OPTIMA 2021, Petrovac, Montenegro, September 27 – October 1, 2021). 2021. Vol. 13078. P. 203-214.
159. *Sorokovikov P.S., Gornov A.Yu.* Software package for the numerical solution of nonlocal optimization problems // EUROGEN 2021: 14th ECCOMAS Thematic Conference on Evolutionary and Deterministic Methods for Design, Optimization and Control (Greece, 17–19 May 2021). 2021. P. 262–270.
160. *Staritsyn M., Pogodaev N., Goncharova E.* Feedback Maximum Principle for a Class of Linear Continuity Equations Inspired by Optimal Impulsive Control // Lecture Notes in Computer Science: 20th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2021, Irkutsk, 5-10 July 2021). 2021. Vol. 12755. P. 356-368.
161. *Strekalovsky A., Kochetov Y., Gruzdeva T., Orlov A.* Preface // Communications in Computer and Information Science: 20th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2021, Virtual, online, 5-10 July 2021). 2021. Vol. 1476.
162. *Strekalovsky A.S.* A Local Search Scheme for the Inequality-Constrained Optimal Control Problem // Lecture Notes in Computer Science: 20th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2021, Irkutsk, 5-10 July 2021). 2021. Vol. 12755. P. 17-31.
163. *Strekalovsky A.S.* On global optimality conditions for D.C. Minimization problems with D.C. Constraints // Journal of Applied and Numerical Optimization. 2021. Vol. 3, № 1. P. 175-196.
164. *Strekalovsky A.S.* On nonconvex optimal control problems // Journal of Physics. Conference Series: Intern. Conf. on Marchuk Scientific Readings 2020 (MSR 2020, Novosibirsk, 19-23 October 2020). 2021. Vol. 1715, № 1.
165. *Svinin A.K.* On solutions for some class of integrable difference equations // Journal of Difference Equations and Applications. 2021. Vol. 27, № 12. P. 1734-1750.
166. *Timoshin S.A., Aiki T.* Relaxation in population dynamics models with hysteresis // SIAM Journal on Control and Optimization. 2021. Vol. 59, № 1. P. 693-708.



167. *Timoshin S.A., Tolstonogov A.A.* Implicit subdifferential inclusions with nonconvex-valued perturbations // *Journal of Fixed Point Theory and Applications*. 2021. Vol. 23, № 3. P. 23-32.
168. *Tolstonogov A. A.* BV Solutions of a Convex Sweeping Process with Local Conditions in the Sense of Differential Measures // *Applied Mathematics and Optimization*. 2021. Vol. 84. P. 591-629.
169. *Tolstonogov A.A.* Differential inclusions in a Banach space with composite right-hand side // *Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics*. 2021. Vol. 313, № 1. P. 201-210.
170. *Tolstonogov A.A.* A Multivalued History-Dependent Operator and Implicit Evolution Inclusions. II // *Siberian Mathematical Journal*. 2021. Vol. 62, № 4. P. 747-762.
171. *Tolstonogov A.A.* BV solutions of a convex sweeping process with a composed perturbation // *Evolution Equations and Control Theory*. 2021. Vol. 11, № 2. P. 537 - 557.
172. *Tolstonogov A.A.* A Multivalued History-Dependent Operator and Implicit Evolution Inclusions. I // *Siberian Mathematical Journal*. 2021. Vol. 62, № 3. P. 545-553.
173. *Tyshchenko A.G., Zaikin O.S., Sorokin M.A., Petrov P.S.* A Program based on the Wide-Angle Mode Parabolic Equations Method for Computing Acoustic Fields in Shallow Water // *Acoustical Physics*. 2021. Vol. 67, № 5. P. 512-519.
174. *Vasilyev I., Ushakov A.V., Barkova M.V., Zhang D., Ren J., Chen J.* Fast Heuristic Algorithms for the Multiple Strip Packing Problem // *Communications in Computer and Information Science: 20th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2021, Virtual, online, 5-10 July 2021)*. 2021. Vol. 1476. P. 284-297.
175. *Voskoboinikov M.L., Fedorov R.K., Ruzhnikov G.M.* Automatic definition of web service call zones based on the classification of context of the mobile device // *Journal of Computational Technologies*. 2021. Vol. 26, № 2. P. 88-97.
176. *Yurin A.Y., Dorodnykh N.O.* Creating Web Decision-Making Modules on the Basis of Decision Tables Transformations // *Communications in Computer and Information Science: 7th Intern. Conf. on Modelling and Development of Intelligent Systems (MDIS 2020; Sibiu; Romania; 22-24 October 2020)*. 2021. Vol. 1341. P. 167-184.
177. *Yurin A.Y., Dorodnykh N.O., Nikolaychuk O.A.* Update (4.2020.0303) to «Personal Knowledge Base Designer: Software for expert systems prototyping» (PII: S2352711019303334) // *SOFTWAREX T*. 2021. Vol. 16.
178. *Yurin A.Yu., Dorodnykh N.O., Shigarov A.O.* Semi-Automated Formalization and Representation of the Engineering Knowledge Extracted From Spreadsheet Data // *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 157468-157481.
179. *Yurin A.Yu., Kotlov Y.V., Popov V.M.* The conception of an intelligent system for troubleshooting an aircraft // *CEUR Workshop Proceedings: 4th Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2021, Irkutsk, 14 September 2021)*. 2021. Vol. 2984. P. 42-48.
180. *Yurin A.Yu., Nikolaychuk O.A., Dorodnykh N.O.* Application of decision tables transformations for prototyping knowledge bases in the case of forest fire risk forecasting // *CEUR Workshop Proceedings: 4th Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2021, Irkutsk, 14 September 2021)*. 2021. Vol. 2984. P. 34-41.



181. Zharkov M., Lempert A., Pavidis M. Simulation of Railway Marshalling Yards Based on Four-Phase Queuing Systems // Communications in Computer and Information Science: Information Technologies and Mathematical Modelling. 2021. Vol. 1391. P. 143-154.
182. Zubova E., Kashulin N., Terentyev P., Melekhin A., Fedorov R.K., Shalygin S. Occurrence of fish species in the inland water of Murmansk Region (Russia): research in 1972-2021 // Biodiversity Data Journal. 2021. Vol. 9.

СТАТЬИ В СБОРНИКАХ ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИЙ

183. Авраменко Ю.В., Попова А.К., Ружников Г.М., Федоров Р.К. Непрерывная интеграция методов обработки ДЗЗ для исследования Байкальской природной территории // Сб. трудов VII Междунар. конф. и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2021, Самара, 20–24 сентября 2021 г.). 2021.
184. Башарина О.Ю., Феоктистов А.Г. Методика выявления и прогнозирования составляющих временных рядов природно-климатических показателей // Прорывные научные исследования как двигатель науки: Тр. Междунар. научно-практической конф. 2021. С. 20-24.
185. Булатов М.В., Соловарова Л.С. Приложение матричных полиномов к исследованию систем интегро-дифференциальных уравнений с тождественно вырожденной главной частью // Материалы 3-й Междунар. конф. «Динамические системы и компьютерные науки: теория и приложения» (DYSC 2021; Иркутск, 13–17 сентября 2021 г.). 2021. С. 20-21.
186. Бычков И.В., Парамонов В.В., Ружников Г.М., Михайлов А.А., Федоров Р.К., Ключевский А.В., Демьянович В.М., Дэмбэрэл С. Инфраструктура и технология разработки информационно-аналитических систем с функциями пространственного анализа для оценки сейсмической опасности больших литосферных блоков Прибайкалья и Монголии // Сб. трудов конф. «Россия и Монголия в XX-XXI вв.: к 100-летию монгольской революции и установления дипломатических отношений» (Улан-Удэ, Кяхта, 9–10 сентября 2021 г.). 2021. С. 56-58.
187. Бычков И.В., Феоктистов А.Г., Горский С.А., Костромин Р.О. Интеллектуализация разработки распределенных пакетов прикладных программ на основе непрерывной интеграции программного обеспечения и конфигурирования ресурсов // Сб. трудов VII Междунар. конф. и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2021, Самара, 20–24 сентября 2021 г.). 2021. С. 33232.
188. Бычков И.В., Феоктистов А.Г., Костромин Р.О. Автоматизация конфигурирования вычислительных узлов среды функционирования цифровых двойников // Материалы XIV Всерос. мультikonференции по проблемам управления. 2021. Т. 2. С. 97-99.
189. Гаченко А.С., Хмельнов А.Е. Технологии моделирования рельефа рек и водохранилищ // Материалы VIII Междунар. конф. «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли» (Красноярск, 14–17 сентября 2021 г.). 2021. С. 136-139.
190. Еделев А.В., Феоктистов А.Г. Выбор подхода к моделированию взаимосвязанных критических инфраструктур // Современные проблемы и перспективные направления



- инновационного развития науки: Тр. Междунар. научно-практической конф. 2021. С. 25-30.
191. *Еделев А.В., Феоктистов А.Г.* База данных для моделирования автономных энергетических комплексов // Техническая и технологическая модернизация России. Проблемы, приоритеты, перспективы: Тр. Междунар. научно-практической конф. 2021. С. 3-9.
192. *Жарков М.Л., Казаков А.Л., Лемперт А.А.* К вопросу о применении теории массового обслуживания при моделировании работы железнодорожных станций // Distributed computer and communication networks: control, computation, communications (DCCN-2021): Материалы XXIV Междунар. конф. 2021. С. 263–268.
193. *Жарков М.Л., Лемперт А.А., Петров М.Б.* Применение сетей массового обслуживания для моделирования транспортно-логистических систем различного уровня // Межтерриториальное неравенство: проблема или драйвер развития: Материалы VI Междунар. симпозиума по региональной экономике. 2021. С. 29–37.
194. *Жарков М.Л., Пavidис М.М.* Об использовании четырехфазных систем массового обслуживания для описания работы грузовых и сортировочных железнодорожных станций // Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2020): Материалы XIX Междунар. конф. имени А.Ф. Терпугова. Томск, 2021. С. 184-187.
195. *Казаков А.Л., Кузнецов П.А.* О некоторых точных решениях типа диффузионной волны системы уравнений «реакция-диффузия» со степенными нелинейностями // Материалы 3-й Междунар. конф. «Динамические системы и компьютерные науки: теория и приложения» (DYSC 2021; Иркутск, 13–17 сентября 2021 г.). 2021. С. 32-35.
196. *Казаков А.Л., Спевак Л.Ф.* Численное построение решений типа диффузионной волны для системы уравнений «реакция-диффузия» с произвольными нелинейностями // Материалы 3-й Междунар. конф. «Динамические системы и компьютерные науки: теория и приложения» (DYSC 2021; Иркутск, 13–17 сентября 2021 г.). 2021. С. 36-39.
197. *Котлов Ю.В., Попов В.М., Юрин А.Ю.* Онтология поиска и устранения неисправностей системы электроснабжения воздушного судна // Материалы Всероссийской конф. с междунар. участием «Знания-Онтологии-Теории (ЗОНТ-21)» (8-12 ноября 2021 г., Новосибирск). 2021. С. 142-149.
198. *Пащинин А.А., Богданова В.Г.* Средства автоматизации построения композитных сервисов для научных вычислений // Тр. XV Междунар. конф. «Параллельные вычисл. технологии» (ПаВТ'2021, Волгоград, 30 марта – 1 апреля 2021 г.). 2021. С. 283.
199. *Сорокин С.П., Сорокина П.Г.* Оптимизация промысла рыб с учетом возрастной структуры и искусственного воспроизводства // Материалы 3-й Междунар. конф. «Динамические системы и компьютерные науки: теория и приложения» (DYSC 2021; Иркутск, 13–17 сентября 2021 г.). 2021. С. 118-119.
200. *Тятюшкин А.И.* Многометодные алгоритмы для решения сложных задач оптимального управления // Материалы Междунар. конф. памяти проф Р.Ф. Габасова «Динамические системы: устойчивость, управление, оптимизация» (Минск, 5–10 октября 2021 г.). 2021. С. 181-183.
201. *Феоктистов А.Г., Костромин Р.О., Башарина О.Ю.* Сервис анализа временных рядов природно-климатических показателей окружающей среды инфраструктурных объектов



- Байкальской природной территории // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXVII Международного симпозиума. Конференция F (Москва, 5-9 июля 2021 г.). 2021. С. 96-99.
202. *Финогенко И.А., Сесекин А.Н.* О позиционных импульсных управлениях для дифференциальных включений // Материалы Междунар. конф. памяти проф. Р.Ф. Габасова «Динамические системы: устойчивость, управление, оптимизация» (Минск, 5–10 октября 2021 г.). 2021. С. 187-189.
203. *Хмельнов А.Е., Гаченко А.С., Ружников Г.М.* Уточнение моделей прибрежного подводного рельефа при наличии колебаний уровня воды с использованием открытых спутниковых данных // Материалы XXVII Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Конференция F (Москва, 5-9 июля 2021 г.). 2021. С. 68-71.
204. *Черкашин Е.А.* Реализация трансформации моделей на основе объектно-ориентированного логического программирования // Материалы III Междунар. научно-практической конф. «Современное программирование» (Нижевартовск, 27–29 ноября 2020 г.). 2021. С. 12-18.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

205. *Staritsyn M., Pogodaev N., Chertovskih R. and Pereira F.L.* Few-shot classification via optimal ensemble control of «infinitely deep and large» neural networks // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 70.
206. *Svinina S.V.* On the numerical solution of some multidimensional differential-algebraic systems // Proc. Intern. Conf. Marchuk Scientific Readings. 2021. С. 63.
207. *Авраменко Ю.В., Попова А.К., Федоров Р.К.* Опыт применения RESNET50 для классификации ДЗЗ // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 3.
208. *Аникин А.С.* Оценка пределов масштабирования сеток дискретизации для задач оптимального управления // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 5.
209. *Аникин А.С.* Модификация метода LBFGS с экономичным одномерным поиском // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 4.
210. *Банициков А.В.* О гироскопической стабилизации положений равновесия орбитального гиростата // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 6.
211. *Баркова М.В., Стрекаловский А.С.* Поиск глобальных решений в задачах квадратичной оптимизации с невыпуклыми ограничениями-неравенствами // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 7.
212. *Белых А.А., Баркова М.В.* Уровневые алгоритмы для задачи упаковки прямо-угольников в несколько полос // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 8.
213. *Горнов А.Ю.* Про «островной» подход к задаче невыпуклой оптимизации // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 14.



214. Горнов А.Ю. Программный комплекс для задач смешанной целочисленной оптимизации // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 9.
215. Горнов А.Ю. Численное исследование алгоритма Архимеда для оценки объема многомерных тел // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 10-11.
216. Горнов А.Ю. Об одной классификации невыпуклых задач оптимизации // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 12-13.
217. Давыдов А.В., Ларионов А.А., Нагул Н.В. Реализация супервизоров в формальном логическом подходе к управлению дискретно-событийными системами // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 15-16.
218. Денисова Д.А., Дородных Н.О. ONTOGEN: Система автоматизированного со-здания онтологий на основе преобразования электронных таблиц // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 17-18.
219. Дородных Н.О., Видия А., Юрин А. Автоматизированное создание онтологий на основе электронных таблиц // Тез. докл. XXI Всерос. конф. молодых ученых по матем. моделированию и информ. технологиям (Новосибирск, 7–11 декабря 2020 г.). 2020. С. 34.
220. Жарков М.Л., Казаков А.Л. О моделировании железнодорожных транспортных систем на основе сетей массового обслуживания // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 19.
221. Зароднюк Т.С. Модельная задача оптимального управления с исчезающе малой областью притяжения глобального экстремума // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 20.
222. Иртегов В.Д., Титоренко Т.Н. Об инвариантных соотношениях в задаче о движении твердого тела в магнитном поле // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 21.
223. Казаков А.Л., Кузнецов П.А. О построении кусочно-аналитических решений краевой задачи с вырождением для нелинейной параболической системы // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 22-23.
224. Кондратьев В.С. Применение дизъюнктивных диаграмм в препроцессинге конъюнктивных нормальных форм // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 25-26.
225. Косов А.А. Об аналогах случая Бобылева-Стеклова для гиростата // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 27-28.
226. Костромин Р.О. Сравнительный обзор средств управления конфигурациями ресурсов вычислительной среды функционирования цифровых двойников // Тезисы XXVI Байкальской Всерос. конф. с международным участием (Иркутск, 30 июня – 8 июля 2021 г.). 2021. С. 38.
227. Костылева О.Д., Парамонов В.В. О классификации веб-таблиц // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 29-31.
228. Кочемазов С.Е. О стратегиях переключения между фазами в современных алгоритмах решения проблемы булевой выполнимости // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 32.



229. *Куклин С.Г., Горнов А.Ю.* Программный комплекс анализа данных холтеровского мониторингирования для персонифицированной медицины // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 33.
230. *Марков Ю.А., Маркова М.А.* Производство Мойла для парagrассмановой алгебры порядка 2 // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 34-35.
231. *Марков Ю.А., Маркова М.А., Марков Н.Ю.* Гамильтонов формализм для фермионных возбуждений в кварк-глюонной плазме // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 36-38.
232. *Новиков М.А.* Об устойчивости некоторых стационарных движений механической системы с условным интегралом // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 39.
233. *Орлов А.В.* К решению квадратичных двухуровневых задач с биматричной игрой на нижнем уровне // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 40.
234. *Пасечнюк Д.А., Горнов А.Ю.* «Солнечный» метод: двухуровневый алгоритм в одноуровневой задаче оптимизации // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 42.
235. *Петренко П.С.* Об управляемости одной вырожденной гибридной системы // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 44.
236. *Самсонюк О.Н.* Представление BV-решений управляемого процесса выметания // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 48.
237. *Свинин А.К.* О решениях некоторых дискретных уравнений // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 49.
238. *Свинина С.В.* О четырехточечной локально-одномерной разностной схеме для некоторых линейных многомерных дифференциально-алгебраических систем первого порядка // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 50.
239. *Сороковиков П.С., Горнов А.Ю.* Низкопотенциальные атомные кластеры Сатто-на-Чена размерностей от 121 до 150 атомов // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 51.
240. *Сороковиков П.С., Хандаров Ф.В.* Комбинированный алгоритм невыпуклой оптимизации на основе методов генетического поиска и роя частиц // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 52-53.
241. *Толстихин А.А.* Мультиагентный децентрализованный подход к обследованию полей концентрации, инспирированный поведением омаров // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 54.
242. *Тятюшкин А.И.* Многометодный алгоритм для решения задачи перевода нели-нейного объекта // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 55-57.
243. *Тятюшкин А.И., Зароднюк Т.С.* Методика численного решения задачи оптимального управления в системе с постоянным запаздыванием // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 58-59.



244. *Хмельнов А.Е.* Реализация сервиса для получения фрагментов векторной топоосновы // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 62-63.
245. *Чистяков В.Ф.* О численном решении линейных интегро-алгебраических уравнений Фредгольма с вырожденными ядрами // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 66-67.
246. *Шабалин А.С., Николайчук О.А.* Адаптация образовательного процесса на основе продукций // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 68.
247. *Юрин А.Ю., Дородных Н.О.* О реализации верификации и валидации синтезируемых кодов онтологических и продукционных баз знаний // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 6–10 декабря 2021 г.). 2021. С. 69.

СВИДЕТЕЛЬСТВА О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ОБЪЕКТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

248. *Горский С.А.* Средства организации расчетных баз данных, предназначенных для сбора, хранения и обработки многовариантных экспериментальных данных: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2021662947 от 10.08.2021. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2021.
249. *Грибанова И.А., Семенов А.А., Отпущенников И.В.* Многопоточный решатель проблемы MaxSAT: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2021680063 от 06.12.2021. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2021.
250. *Дородных Н.О., Юрин А.Ю.* Knowledge Graph Augmentation System: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2021664724 от 13.09.2021. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2021.
251. *Дружинин Э.И., Ульянов С.А.* Программа для расчета законов управления переориентацией космического аппарата в классе перманентных вращений: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2021669697 от 01.12.2021. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2021.
252. *Кензин М.Ю.* Моделирующий комплекс «Situational awareness system for distributed robotic groups»: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2021669692 от 01.12.2021. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2021.
253. *Костромин Р.О.* Сервис создания и редактирования спецификаций моделей цифровых двойников инфраструктурных объектов: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2021662945 от 09.08.2021. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2021.
254. *Костромин Р.О., Феоктистов А.Г.* Сервис подготовки и запуска имитационных моделей функционирования инфраструктурных объектов в распределенной вычислительной



среде: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2021662946 от 08.08.2021. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2021.

255. *Толстихин А.А.* Программное обеспечение программно-аппаратного комплекса TEMAR (Testbed Environment for Multiple Autonomous Robots): Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2021669690 от 01.12.2021. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2021.



**ЦЕЛЕВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЛАНА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИДСТУ СО РАН**

№ п/п	Наименование показателя (индикатора)	Ед. изм.	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год
			Факт	Факт	Факт	Факт
1.	Среднесписочная численность работников всего	чел.	128	126	124	123
2.	Численность работников, выполняющих научные исследования и разработки всего, из них:	чел.	154	153	154	178
2.1.	Численность исследователей, всего	чел.	84	83	81	103
3.	Средняя заработная плата научных сотрудников	тыс. руб.	73,4	87,1	93,1	113
4.	Отношение средней заработной платы научных сотрудников к средней заработной плате в соответствующем регионе	%	201	224	228	205
5.	Удельный вес исследователей в возрасте до 39 лет в общей численности исследователей учреждения	%	42,9	44,58	37	25
6.	Доля исследователей, осуществляющих преподавательскую деятельность в общей численности исследователей	%	46	46	33	30
7.	Объем внутренних затрат учреждения на научные исследования и разработки в общем объеме расходов учреждения всего	тыс. руб.	148 325,6	167016,8	269566,1	291949,5
8.	Удельный вес средств, полученных учреждением из внебюджетных источников	%	18,9	14,6	46,7	43,3



Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2021 г.

9.	Стоимость машин и оборудования в возрасте до 5 лет	тыс. руб.	26 687	28 479,9	31558	9651,37
10.	Число публикаций в рецензируемых российских и международных периодических изданиях.	ед.	188	224	185	179
11.	Число научных публикаций в журналах, индексируемых в базе данных Scopus.	ед.	135	161	143	138
12.	Число научных публикаций в журналах, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (Web of Science) за год	ед.	72	87	71	61
13.	Количество зарегистрированных объектов интеллектуальной собственности всего	ед.	114	121	127	135