

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

«23» *сентября* 2020 г.

ИТОГОВЫЙ ОТЧЕТ

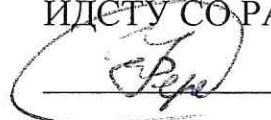
*о научной и научно-организационной работе
за 2019 год*

Одобен Ученым советом
ИДСТУ СО РАН

Протокол № 1 от 20.01.2020

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 2019 г.***



***Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2019 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.

Советник – чл.-к. РАН Толстоногов Александр Александрович.

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

Заместители директора по научной работе – к.т.н. Максимкин Николай Николаевич, д.т.н. Опарин Геннадий Анатольевич, 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 – 153 чел., в т.ч. н.р. – 83. Из них ак. – 1, чл.-к. РАН – 1, д.н. – 23, к.н. – 52.

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).



***Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2019 г.***

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 (д.ф.-м.н. В.А. Дыхта)

**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.т.н. Э.И. Дружинин)**

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.П. Новопашин)

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.т.н. А.А. Семенов)



ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
Важнейшие научные результаты	9
Результаты фундаментальных исследований по программам РАН	29
Исследования по Программам РАН и интеграционным проектам СО РАН	60
Исследования, проведенные при поддержке Российского научного фонда	69
Исследования, проведенные при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований	75
Международные гранты Российского фонда фундаментальных исследований	77
Исследования по молодежным проектам	7
Работы по развитию инфраструктуры интегрированной информационно-вычислительной сети Иркутского научно-образовательного комплекса (ИИВС ИрНОК)	78
Иркутский суперкомпьютерный центр СО РАН	79
Инновационная деятельность	80
Научно-организационная деятельность	81
Ученый совет	81
Диссертационный совет	81
Научные кадры	81
Конференции и семинары	82
Связи с вузами	82
Членство в советах РАН и СО РАН	82
Членство в национальных и международных научных организациях	83
Членство в редколлегиях научных изданий	83
Членство в научно-технических советах и комиссиях органов государственной власти	84
Экспертная деятельность	84
Международные научные связи и совместная деятельность с зарубежными научными учреждениями	85
Перечень публикаций и полученных патентов	88
Справочные материалы	119



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 2019 году в Институте работали 153 человека, из них 83 – научные работники, в том числе 1 действительный член РАН, 1 член-корреспондент РАН, 23 доктора наук и 52 кандидата наук, молодых научных работников (до 39 лет) – 37, проходили обучение 9 аспирантов.

В 2019 году Институт проводил фундаментальные исследования в соответствии с Планом научно-исследовательской работы и Государственным заданием по 7 научным (базовым) темам в рамках двух приоритетных направлений Программы фундаментальных исследований государственных академий на 2013-2020 годы:

- I.1.4.1. Эволюционные уравнения и управляемые системы: теория, численный анализ и приложения (руководитель – чл.-к. РАН А.А. Толстоногов).
- I.1.4.2. Развитие математических методов описания процессов в физике высоких энергий, высокотемпературной плазме и механике сплошных сред (руководитель – д.ф.-м.н. Ю.А. Марков).
- I.1.4.3. Качественный анализ динамических свойств и синтез управлений гибридными механическими системами с развитием средств компьютерной алгебры и средств численной реализации (руководитель – д.т.н. Э.И. Дружинин).
- IV.38.1.1. Технологии разработки проблемно-ориентированных самоорганизующихся мультиагентных систем группового управления: методы, инструментальные средства, приложения (руководитель – ак. И.В. Бычков).



**Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2019 г.**

- IV.38.1.2. Методы и технологии создания распределенной сервисно-ориентированной среды сбора, хранения, обработки больших объемов разноформатных междисциплинарных научных данных и знаний, основанные на конструктивных средствах спецификации, порождающем программировании и интеллектуализации (руководитель – д.т.н. Г.М. Ружников).

- IV.38.1.3. Разработка методов непрерывной и дискретной оптимизации и их реализация на высокопроизводительных вычислительных системах для поддержки междисциплинарных научных исследований (руководитель – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский).

- IV.38.1.4. Информационно-телекоммуникационная платформа цифрового мониторинга озера Байкал на основе сквозных технологий (руководитель – ак. И.В. Бычков).

В соответствии с Планом научно-исследовательской работы и Государственным заданием проводились также фундаментальные исследования по 2 темам Программы фундаментальных исследований Президиума РАН и 4 темам Комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН № II.1 «Междисциплинарные интеграционные исследования»:

- Программа I.27П, тема «Методы и средства решения трудных переборных задач с помощью суперкомпьютеров» (руководитель – ак. И.В. Бычков).

- Программа I.30П, тема «Методы, алгоритмы и инструментальные средства децентрализованного группового решения задач в вычислительных и управляющих системах» (руководитель – ак. И.В. Бычков).

- Программа II.1, тема «Разработка и экспериментальное исследование эффективности методов оценки антропогенного воздействия на окружающую среду» (отв. – д.т.н. Г.М. Ружников).

- Программа II.1, тема «Создание специализированного программного инструментария, способного производить анализ многомерных экономических моделей динамического типа с невыпуклыми критериями качества» (отв. – д.т.н. А.Ю. Горнов).

- Программа II.1, тема «Разработка алгоритмов и решение задач управления спиновыми токами в структурах с квантовыми точками» (отв. – д.т.н. А.Ю. Горнов).

- Программа II.1, тема «Разработка алгоритмов и методик параметрической идентификации динамических моделей формирования батолитов и базит-ультрабазитовых комплексов» (отв. – д.т.н. А.Ю. Горнов).

Проводились фундаментальные исследования за счет внебюджетных источников по 26 научно-исследовательским проектам РФФИ, в том числе по 2 проектам молодых ученых, 2 международным проектам. Проводились также исследования по 4 проектам РНФ.

Все задания 2019 года выполнены.

Для участия в международных конференциях и проведения совместных исследований в 2019 году работниками Института выполнено 18 командировок за рубеж в 8 стран мира.

В 2019 году Институтом проведены следующие научные мероприятия:

- 8-я Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ-2019 (8th International Conference on Systems Analysis and Information Technologies), 8–14 июля 2019 года, г. Иркутск – Байкал, ИДСТУ СО РАН, ФИЦ ИУ РАН.



**Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2019 г.**

- Конференция «Ляпуновские чтения», 2–6 декабря 2019 года, г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН.

- 1st International Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments, ICCS-DE 2019, 9 июля 2019 года, г. Иркутск, Россия.

- 2nd Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems, ITAMS 2019, 20 сентября 2019 года, г. Иркутск, Россия.

Сотрудниками Института в 2019 году опубликовано 418 работ, из них: 89 – в изданиях, включенных в международную базу цитирования Web of Science, 163 – в изданиях, включенных в международную базу цитирования Scopus, 179 – в изданиях, включенных в базу РИНЦ, получено 7 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ в Российском агентстве по патентам и товарным знакам.

В 2019 году Благодарность Губернатора Иркутской области получила к.ф.-м.н. Т.В. Груздева.

Грант Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук получил к.т.н. Н.О. Дородных.

Стипендии Президента РФ для молодых ученых получили И.А. Грибанова, С.Е. Кочемазов.

Стипендию Губернатора Иркутской области получила А.И. Бондаренко.

Стипендию Мэра города Иркутска в области науки и техники получил М.Л. Жарков.



ВАЖНЕЙШИЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Приоритетное направление 1. Теоретическая математика

1. Условия робастной устойчивости для линейной нестационарной системы дифференциально-алгебраических уравнений с интервальными возмущениями

Исследовался вопрос об асимптотической устойчивости линейной системы дифференциально-алгебраических уравнений (ДАУ) с зависящими от времени интервальными коэффициентами. Получены условия, гарантирующие, что введение интервальных возмущений не нарушает внутреннюю структуру и вид общего решения системы. В предположениях, обеспечивающих сохранение структуры, получены достаточные и необходимые и достаточные условия робастной устойчивости. В известной литературе имеются результаты по робастной устойчивости нестационарных ДАУ индекса неразрешенности единица. Для классов систем, допускающих произвольно высокий индекс неразрешенности системы относительно производной искомой вектор-функции и переменный ранг матричных коэффициентов номинальной (невозмущенной) системы, в случае, когда возмущения присутствуют во всех матричных коэффициентах системы, результаты по робастной устойчивости получены впервые. Системой ДАУ, к примеру, можно описать модель химического реактора изомеризации с внешним охлаждением (см. рис. 1). При этом параметры реактора, такие как концентрация, температура, скорость реакции, могут определяться с некоторыми погрешностями, что можно описать в виде неопределенности.



Рис. 1. Химический реактор изомеризации с внешним охлаждением

Автор: д.ф.-м.н. А.А. Щеглова

2. Дифференциально-алгебраические уравнения с гистерезисной нелинейностью

Рассмотрены два класса систем дифференциально-алгебраических уравнений (ДАУ) индекса 2 с гистерезисной нелинейностью, моделируемой процессом выметания, и импульсным управлением, заданным ограниченной борелевской мерой. На основе преобразования Кронекера-Вейерштрасса построены эквивалентные структурные формы. Доказано необходимое и достаточное условие разрешимости начальной задачи. Введено понятие обобщенного решения ДАУ как реализации импульсно-траекторного расширения



при переходе к системе с траекториями ограниченной вариации. Построена редуцированная система «обыкновенных» ДАУ, эквивалентная расширенной, импульсной системе. Проведены численные эксперименты, основанные на переходе к редуцированной системе и модификации «catching up»-алгоритма, предложенного J.J. Moreau для выпуклого процесса выметания. Системой ДАУ с процессом выметания, к примеру, может быть описана электрическая цепь, содержащая резисторы, диоды, индукционные катушки, конденсаторы и др. (см. рис. 2). При этом в качестве неизвестной компоненты ДАУ $x(t)$ выступает ток участка цепи, а правая часть дифференциального включения представляет собой нормальный конус к так называемому «движимому» множеству.

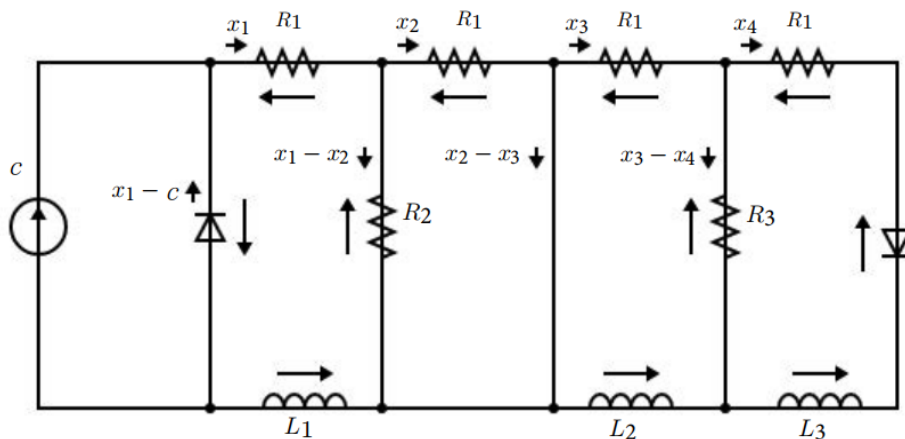


Рис. 2. Электрическая цепь с резисторами, индукционными катушками и диодами

Авторы: к.ф.-м.н. П.С. Петренко, к.ф.-м.н. О.Н. Самсонюк, к.ф.-м.н. М.В. Старицын

3. Существование решения и условия оптимальности для разрывных управляемых процессов с гистерезисной нелинейностью

Рассмотрена задача оптимального управления с гистерезисной нелинейностью, заданной векторным play оператором, и разрывными траекториями ограниченной вариации. Доказана теорема существования оптимального решения и предложен метод доказательства необходимых условий оптимальности. Предложено расширение play оператора на входы ограниченной вариации, и изучен вопрос разрешимости совместной системы, состоящей из дифференциального уравнения с мерой и дифференциального вариационного неравенства. Для иллюстрации полученных результатов построено расширение задачи оптимизации рекламных расходов с векторным гистерезисом, моделирующим запаздывание спроса на товар при изменении объема продаж взаимодополняющих товаров, и проведено численное моделирование соответствующей управляемой системы, состоящей из дифференциального уравнения с векторной управляющей мерой и дифференциального вариационного неравенства. На рис. 3 приведены две аппроксимации управляющей меры, которые порождают два разных разрывных решения, различающихся пополнениями графиков.

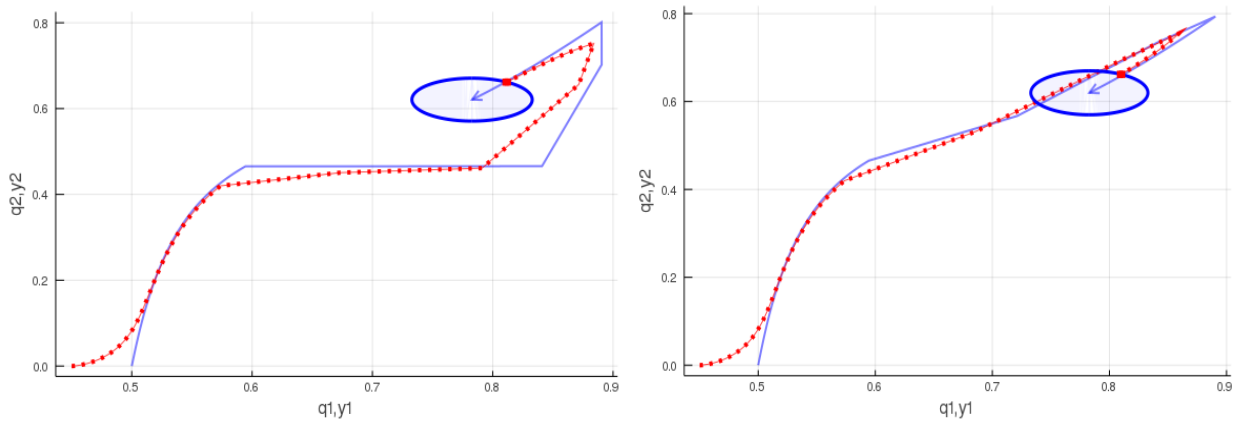


Рис. 3. Модель оптимизации рекламных расходов с гистерезисом

Автор: к.ф.-м.н. О.Н. Самсонюк

4. Задача управления динамикой популяций с учетом диффузионных и гистерезисных эффектов

Рассмотрена задача управления динамикой популяций с учетом диффузионных и гистерезисных эффектов в эволюции популяций. В частности, рассматривается диффузионная модель «жертва-хищник» в ограниченной области с параметром, соответствующим количеству пищи для жертвы. В данной модели эволюция плотности пищи описывается оператором гистерезиса типа обобщенного люфта, входом для которого являются плотности жертв/хищников. Скорость изменения плотности пищи зависит не только от текущего количества жертв/хищников, но и от его непосредственно предшествующей истории. В рассматриваемой управляемой системе вводится управление на количество пищи, доступной для жертвы, и исследуется существование решений соответствующей динамической задачи управления.

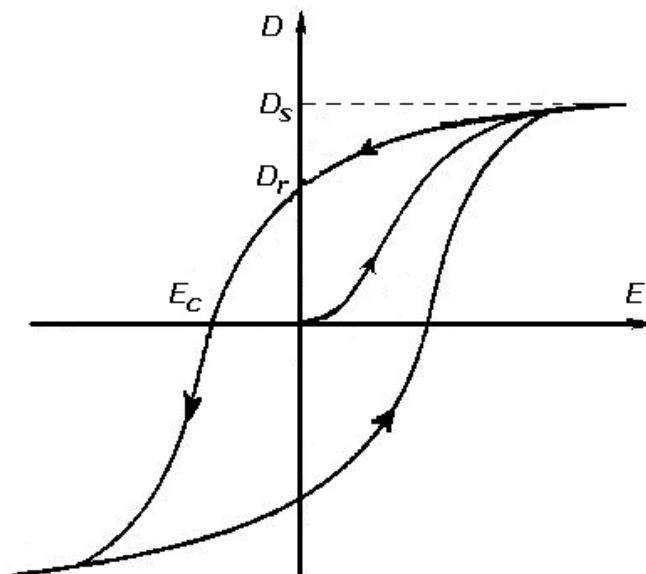


Рис. 4.

Автор: к.ф.-м.н. С.А. Тимошин

5. Необходимые условия оптимальности со слабо инвариантными функциями типа Ляпунова для задач оптимального импульсного управления

Разработан метод генерации импульсных позиционных управлений, потенциально обеспечивающих спуск по целевому функционалу в нелинейной задаче управления дифференциальной системой с мерами. Метод идейно близок к методу опорных мажорант, предложенному В.А. Дыхтой для классических задач оптимального управления. Но в отличие от него при построении позиционных управлений используется специальный класс функций, подуровни которых слабо инвариантны относительно импульсной управляемой системы. Доказаны необходимые условия оптимальности в форме позиционного принципа минимума для нелинейных импульсных процессов и предложен конструктивный итерационный метод построения управлений, последовательно улучшающих значения критерия качества. Разработан алгоритм численного исследования задачи оптимального импульсного управления с линейно-квадратичным функционалом. Результаты апробированы на нескольких тестовых примерах.

$$\begin{aligned} \text{Minimize } J[\sigma] &= \langle x(t_1), Ax(t_1) \rangle, \quad A = \begin{pmatrix} -5 & 3 \\ 3 & -5 \end{pmatrix}, \text{ subject to} \\ x_1(t) &= \int_0^t \mu_{c1}(d\tau) + \sum_{s \in S, s \leq t} (z_1^s(d_s) - x_1(s^-)), \quad x_1(0) = 0, \\ x_2(t) &= \int_0^t x_1(\tau) \mu_{c2}(d\tau) + \sum_{s \in S, s \leq t} (z_2^s(d_s) - x_2(s^-)), \quad x_2(0) = 0, \\ \frac{z_1^s(\tau)}{d\tau} &= \omega_1^s(\tau), \quad z_1^s(0) = x_1(s^-), \\ \frac{z_2^s(\tau)}{d\tau} &= z_1^s(\tau) \omega_2^s(\tau), \quad z_2^s(0) = x_2(s^-), \\ |\omega_1^s(\tau)| + |\omega_2^s(\tau)| &\leq 1 \quad \text{for } s \in S, \mathcal{L}\text{-a.e. } \tau \in [0, d_s], \\ |\mu_c|([0, t_1]) + \sum_{s \in S} d_s &\leq M. \end{aligned}$$

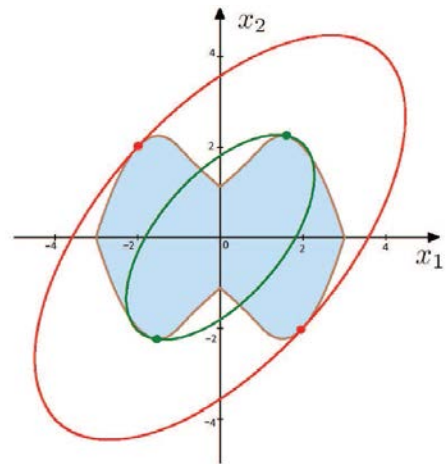


Рис. 5. Пример задачи оптимального импульсного управления с линейно-квадратичным функционалом (слева) и множество достижимости системы с линиями уровня целевой функции и точками локального и глобального минимума (справа). Предложенный метод позволяет при старте с произвольного начального допустимого процесса достигнуть глобального минимума за конечное число итераций (в рассмотренных случаях меньше, чем за 10 итераций)

Авторы: к.ф.-м.н. О.Н. Самсонюк, к.ф.-м.н. М.В. Старицын, к.ф.-м.н. С.П. Сорокин

6. Устойчивые многошаговые методы решения интегро-алгебраических уравнений

Ряд математических моделей важнейших прикладных задач включает в себя взаимосвязанные интегральные уравнения Вольтера первого и второго родов. Такие системы принято называть интегро-алгебраическими уравнениями (ИАУ). Подобные постановки задач принципиально отличаются от систем, разрешенных относительно главной части, они являются некорректными, т.е. могут либо не иметь решения, либо иметь множество решений, и нет непрерывной зависимости от возмущения входных данных. В частности, ИАУ возникают при моделировании долгосрочных стратегий развития электро-энергетических систем и при моделировании электрических и гидравлических цепей и сложных теплоэнергетических установок. В 2019 году для линейных ИАУ было построено



семейство неявных устойчивых многошаговых методов второго и третьего порядков, которые были успешно протестированы на модельных примерах. Результаты численных экспериментов показали, что работоспособность методов может контролироваться некоторым весовым параметром, который должен быть выбран из заданного интервала, чтобы обеспечить необходимую устойчивость алгоритмов. На рис. 6 показано поведение функции ошибки, если весовой параметр M выбран из интервала устойчивости, рис. 7 показывает, что с уменьшением шага сетки погрешность методов только растет, если M выбирается вне границ интервала устойчивости.

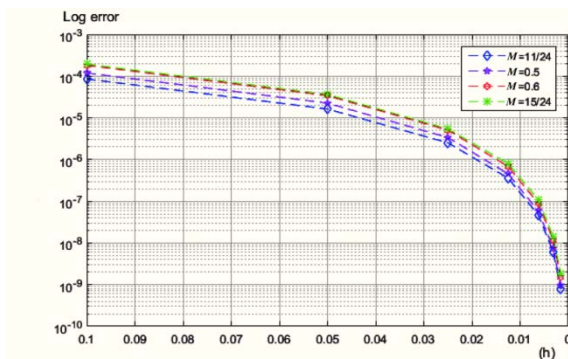


Рис. 6

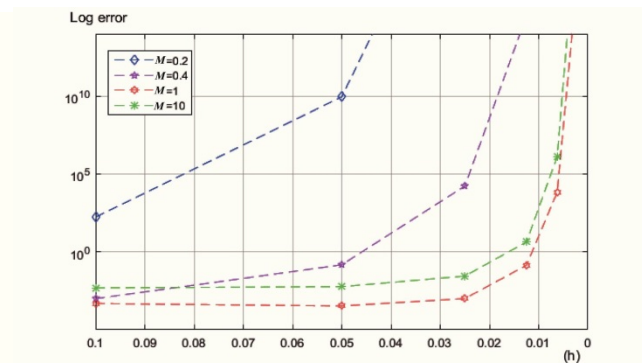


Рис. 7

Авторы: д.ф.-м.н. М.В. Булатов, к.ф.-м.н. Е.В. Чистякова

7. Критерии асимптотической устойчивости для сингулярной системы с переключениями и однородными функциями в правых частях

Получены условия асимптотической устойчивости для сингулярной системы с переключениями и однородными функциями в правых частях в терминах аналогичных свойств отдельных изолированных подсистем быстрых и медленных движений. Переход к изолированным подсистемам существенно снижает размерность задачи и упрощает построение общей функции Ляпунова для конечного семейства дифференциальных уравнений. Для сингулярной переключаемой системы с однородными полиномами по медленному переменному в правых частях предложен способ выбора стабилизирующей обратной связи в случае, когда измерению доступны только быстрые переменные. Предложен алгоритм построения общей функции Ляпунова в виде формы 4-й степени для линейных трехмерных переключаемых систем. Эффективность работы алгоритма подтверждена рядом примеров. В частности, установлено, что общая функция Ляпунова в классе форм 4-й степени может существовать для линейных переключаемых систем в тех случаях, когда общая квадратичная функция Ляпунова не существует. Тем самым показано, что формы более высоких степеней расширяют возможности анализа устойчивости систем с переключениями. Это принципиально отличает ситуацию от классического случая линейных систем без переключений, для которых, как известно, асимптотическая устойчивость эквивалентна существованию квадратичной функции Ляпунова.

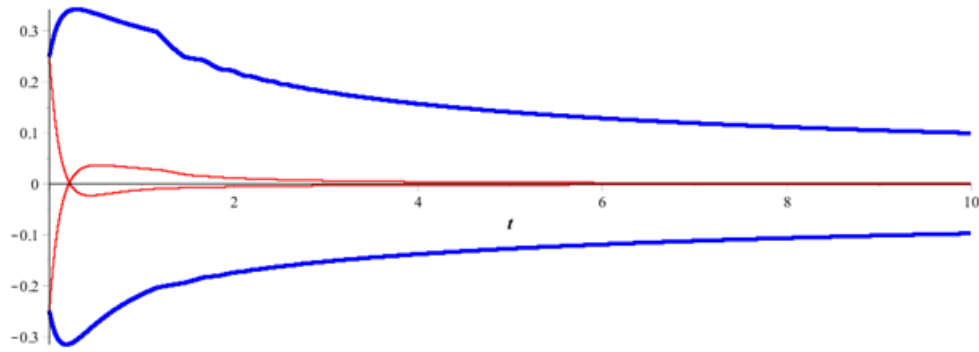
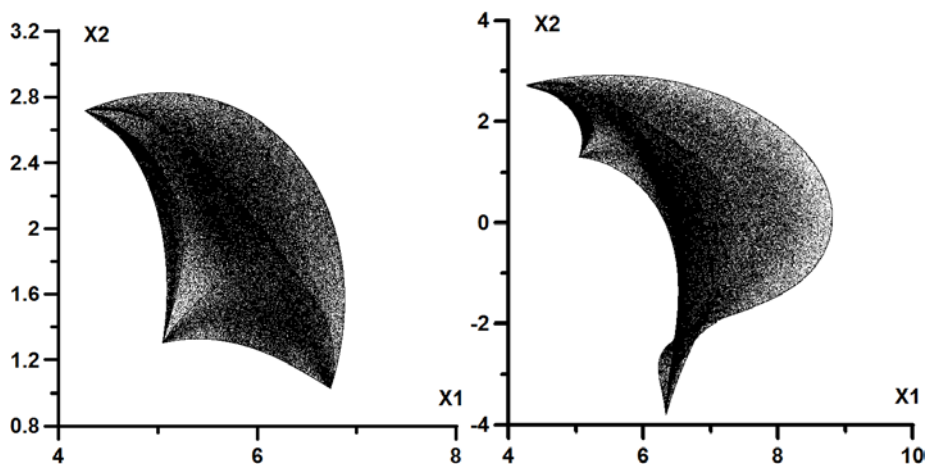


Рис. 8. Пример решения асимптотически устойчивой системы с переключениями.
Точки излома на графиках соответствуют моментам переключений

Автор: к.ф.-м.н. А.А. Косов

8. Вычислительная технология для задачи аппроксимации интегральной воронки дифференциального включения полиэдрального типа

Разработана технология решения задач аппроксимации интегральной воронки для полиэдрально управляемых динамических систем. Эффективным подходом к исследованию подобных задач является метод стохастической аппроксимации в комбинации с алгоритмами генерации управляющих воздействий релейного типа с фиксированным числом точек переключения, использующийся для решения задач фазового оценивания и оптимального управления с ограничениями более простой структуры. Предложенная вычислительная технология включает также программные реализации методов интегрирования систем дифференциальных уравнений, генерации управляющих воздействий, глобальной оптимизации, а также обобщенные методы аппроксимации множества достижимости для задач с полиэдральными ограничениями на управляющие воздействия. На рис. 9 и рис. 10 представлены множества достижимости семейства задач $\dot{x}_1 = 1 + u_1 \sin x_1 + u_2 \cos x_2$, $\dot{x}_2 = u_1 \cos x_1 + u_2 \sin x_2$, $x_1(0) = 5$, $x_2(0) = 1$, $t \in [0, 1]$, с полиэдральными ограничениями на управления $u(t) \in U_i$, $i = \overline{1, 4}$. Проведено многовариантное тестирование разработанных алгоритмов и вычислительных технологий с помощью сформированной коллекции тестовых задач рассматриваемого типа, подтвердившее их применимость для исследования дифференциальных систем с полиэдральными ограничениями.



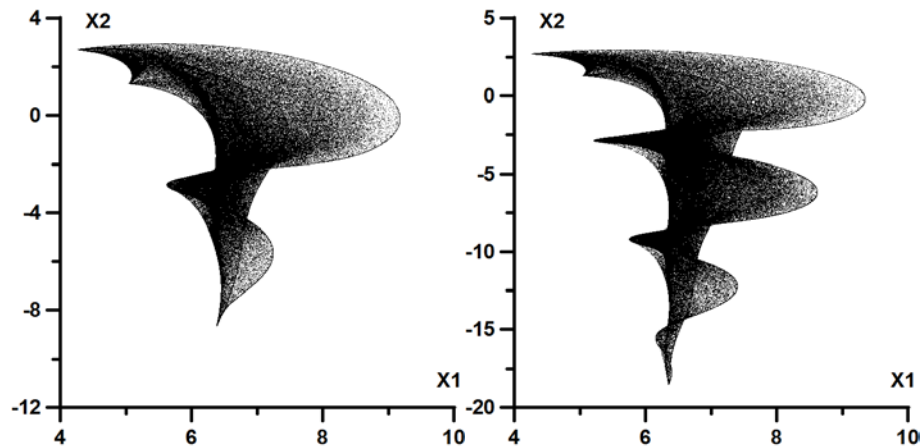


Рис. 9. Аппроксимации множеств достижимости управляемых динамических систем для рассмотренного семейства тестовых задач

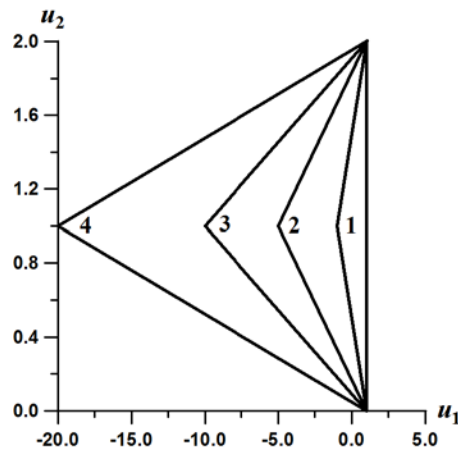


Рис. 10. Множества допустимых управлений для семейства задач с полиэдральными ограничениями

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

9. Программная реализация метода Понтрягина с использованием параллельных вычислительных технологий

Реализованы модификации метода Л.С. Понтрягина, позволяющие находить нелокальные решения задач оптимального управления. Предлагаемый подход опирается на построение расширенной системы дифференциальных уравнений, включающей исходные и сопряженные уравнения. Для формирования соответствующей задачи Коши используются известные значения начальных фазовых координат и стартовые значения сопряженных переменных, выбираемые для двумерного случая с окружности единичного радиуса, для трехмерного – с единичной сферы. Для задач большей размерности с использованием технологии параллельного программирования Nvidia CUDA для графических ускорителей реализован стохастический способ генерации значений сопряженного вектора в начальный момент времени с дальнейшим параллельным запуском процедуры интегрирования динамической системы. Результаты проведенных экспериментов позволили продемонстрировать эффективность применения технологий распараллеливания



вычислительных процессов для численного решения задач оптимального управления (рис. 11).

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= u \\ \dot{x}_2 &= \frac{1}{\sin 2x_1 + 2} - 9.5e^{x_2} + 0.1u^2 \\ x(t_0) &= (-1, 1), u \in [-2.5, 2.5], t \in [0, 2\pi] \\ I(u) &= x_2(t_1) \rightarrow \min. \end{aligned}$$

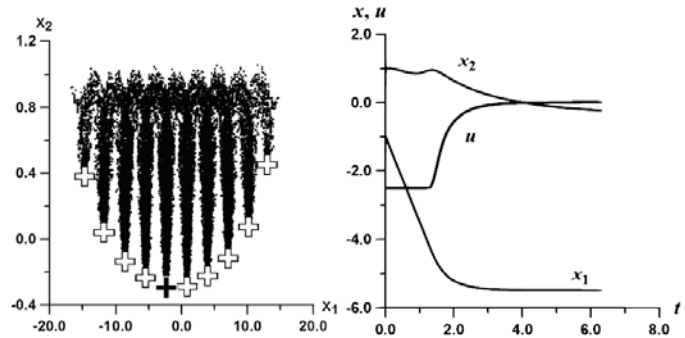


Рис. 11. Постановка задачи оптимального управления, решенной с использованием разработанной вычислительной технологии (слева); множество достижимости с экстремальными точками (глобальный экстремум выделен черным), оптимальные траектории и управление (справа)

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

10. Применение интегральных методов в исследовании полей Бельтрами

Важным классом проблем магнитной гидродинамики, физики плазмы, является проблема устойчивости, характеризующаяся, в частности, отсутствием силы Лоренца. Этому условию удовлетворяют поля Бельтрами, собственные векторы $\nabla \times$ оператора. Они находят применение для описания сдвиговых, спиральных, киральных структур, являются частными решениями уравнений Навье-Стокса. Поля Бельтрами используются в качестве теоретических моделей для астрофизических явлений, таких как солнечные вспышки, спиральные галактики, для вихревых филаментов в плазме. Движение частиц в торнадо также можно аппроксимировать полями Бельтрами. В работе предложен метод восстановления полей Бельтрами по известным из эксперимента интегральным данным (лучевым преобразованиям). Метод использует представление векторного поля в виде мультипольного разложения по векторным волновым функциям. Примеры векторных волновых функций $Re M_l^m(r)$ и $Re N_l^n(r)$, $l=5$, $m=3$ показаны на рис. 12. Получены аналитические выражения лучевых преобразований для базисных векторных волновых функций. Коэффициенты разложения для модельного поля были вычислены с использованием регуляризованного метода наименьших квадратов. Реконструированное векторное поле $Re (M_l^m(r) + N_l^n(r))$, $l=3$, $m=2$ представлено на рис. 13.

Рис. 12. Векторные волновые функции $Re M_l^m(r)$, $l=5$, $m=3$ и $Re N_l^n(r)$, $l=5$, $m=3$



Рис. 13. Восстановленное векторное поле $Re (M_l^m(r) + N_l^n(r))$, $l=3$, $m=2$

Автор: д.ф.-м.н. А.Л. Баландин

11. Внутренние мультипольные моменты не-Гауссовых волновых пакетов

Существует теоретическая и экспериментальная возможность исследования состояний частиц, которые описываются неплоскими волнами. На данный момент были экспериментально получены закрученные фотоны с орбитальным угловым моментом вплоть до $l = 100\hbar$, электроны, а также частицы с профилем в виде Айри-функции. Заряженные частицы с нетривиальной внутренней структурой должны обладать мультипольными моментами. В качестве примеров рассмотрены три случая скалярных волновых пакетов заряженных частиц с нетривиальным профилем гауссова пакета с ненулевой фазой: 1) закрученное состояние с орбитальным моментом, 2) пакет с несингулярной фазой – Айри пучок, 3) суперпозиция двух гауссовых состояний (с нулевым или с ненулевым орбитальным моментом), так называемое состояние типа «Шредингера кота».

Показано, что такие состояния будут обладать ненулевыми магнитным и электрическим квадрупольными моментами. Было также получено электромагнитное излучение поля создаваемого квадруполем таких волновых пакетов. Случай азимутальной зависимости, создаваемого квадруполем от пучка Айри, представлен на рис. 14. В отличие от вихревого пакета, пучок Айри обладает полной азимутальной симметрией. Следует отметить, что волновой пакет, сфокусированный в пятно диаметром в 0.1 нм, будет обладать квадрупольным моментом, сопоставимым с квадрупольными моментами легких водородоподобных атомов или некоторых двухатомных молекул. Такие состояния могут использоваться в дальнейшем для диагностики материалов, атомов и молекул.

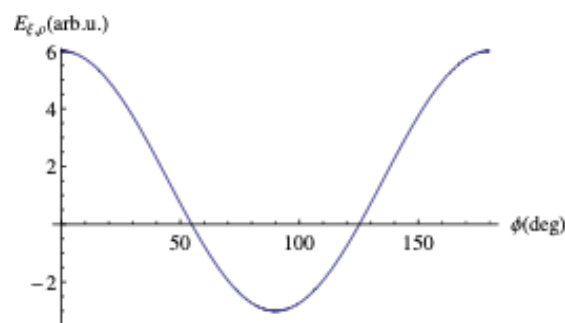


Рис. 14. Азимутальная зависимость радиального поля $E_{\xi, \rho}$ от его квадрупольного момента

Автор: к.ф.-м.н. А.С. Жевлаков



12. Технология расчета программных управлений, не порождающая сингулярных состояний исполнительных гиросилов

Разработана новая технология расчета программных управлений ориентацией космических аппаратов (КА), исполняемых гиросилом – однокарданными силовыми управляющими гироскопами. Технология гарантирует расчет законов управления, не содержащих так называемых сингулярных состояний исполнительной гиросистемы, в которых способность гиросилом управлять ориентацией КА прерывается, и в процессе ее восстановления неуправляемый КА продолжает лететь по орбите. Значение разрабатываемой технологии заключается в радикальном решении знаменитой «проблемы сингулярности», заключающейся в потере исполнительных гироскопов способности управлять КА при попадании их гиросилом в эти особые состояния. Проведена численная реализация разработанной технологии и выполнены расчеты для динамической модели КА с числовыми данными, взятыми из реальных проектных (открытых) разработок, выполняемых на предприятии АО «НПО Лавочкина». Рассмотрены случаи, когда гиросистема состоит из 3-х и 2-х коллинеарных пар соответственно 6-ти и 4-х гиросилом. Результаты многовариантных расчетов подтвердили эффективность разработанной технологии.

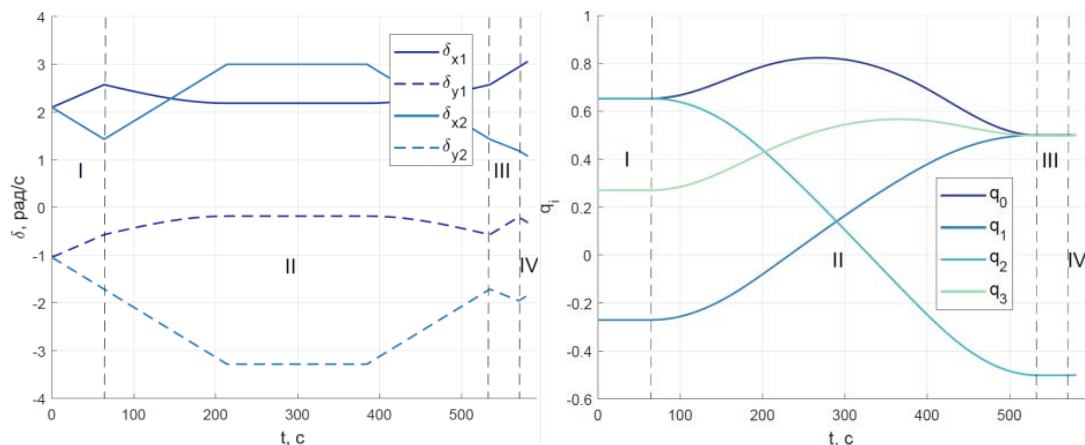


Рис. 15. Пример рассчитанных с использованием разработанной технологии управлений – законов изменения углов прецессий 4-х гиросилом (слева) и соответствующих им графиков изменений компонент кватерниона ориентации КА (справа)

Авторы: ак. И.В. Бычков, Б.Б. Беляев, д.т.н. Э.И. Дружинин, к.т.н. С.А. Ульянов



Приоритетное направление 38. Проблемы создания глобальных и интегрированных информационно-телекоммуникационных систем и сетей. Развитие технологий и стандартов GRID

1. Автоматическая генерация кода чтения и отображения бинарных данных по спецификациям форматов данных на языке FlexT

Для спецификации форматов бинарных данных ранее был разработан декларативный язык FlexT (сокращение от Flexible Types). Основными конструкциями языка FlexT являются определения типов данных, которые напоминают определения типов в традиционных языках программирования, но являются более гибкими. Так, типы данных в языке FlexT могут содержать составляющие переменного размера и иметь параметры.

Основным назначением интерпретатора языка FlexT является отображение содержимого бинарных данных в соответствии со спецификацией формата в понятном для человека виде. Чаще всего следующим шагом при изучении некоторого формата данных является написание кода для работы с ним. Поэтому был разработан генератор кода для чтения данных, позволяющий полностью автоматизировать этот процесс для значительной доли описанных форматов. Автоматически генерируется как модуль чтения данных, так и тестовая программа, демонстрирующая его правильное использование для отображения данных.

В качестве небольшой иллюстрации возможностей генератора кода рассмотрим очень простой формат STL, который является основным форматом для представления моделей при 3D печати. На рис. 16 показана полная спецификация формата на языке FlexT. На рис. 17 показана основная часть кода тестового модуля, сгенерированного по этой спецификации, который использует для своей работы определения из также автоматически сгенерированного модуля чтения данных в формате STL.

```
Data
0 array[5] of char Hdr0

assert not(Hdr0='solid'); //ignore text STL

include Float.rfi

type

TSTLPoint array[3] of TSingle

TSTLFace struc
  TSTLPoint Normal //Normal vector
  array[3] of TSTLPoint Vertex
  Word Attr //Attribute byte count
ends

data
5 array[75] of char Hdr1
80 ulong Count

assert 84+Count*TSTLFace:Size=FileSize;

data
84 array[Count] of TSTLFace Faces
```

Рис. 16. Описание формата STL



<pre>#include <typeinfo> #include <iostream> #include <memory> #include "FmtSys.h" #include "STL.h" #pragma hdrstop using namespace std; using namespace STL; int main(int argc, char* argv[]){ TSTLReader * Reader; std::string FN; int i; int i0; int i1; int i2; PSTLPoint V; PSTLFace V0; if (argc-1<=0) { cout<<"Usage:"<<endl; cout<<" <<extractFileName(argv[0])<< " <STL file>"<<endl; exit(1); } FN = argv[1]; try {</pre>	<pre>{ std::unique_ptr<TSTLReader> must_free_Reader(new TSTLReader(FN)); Reader = must_free_Reader.get(); cout<<"Hdr0: " <<THdr0ToStr(Reader->Hdr0())<<endl; cout<<"Hdr1: " <<THdr1ToStr(Reader->Hdr1())<<endl; cout<<"Count: " <<Reader->Count()<<endl; cout<<"Faces:"<<endl; for (i=0; i<Reader->Faces()->Count(); i++) { V0 = Reader->Faces()->Fetch(i); cout<<" ["<<i<<"]:"<<endl; cout<<" Normal:"<<endl; for (i0=0; i0<3; i0++) cout<<" ["<<i0<<"]:"<< V0->Normal[i0]<<endl; cout<<" Vertex:"<<endl; for (i1=0; i1<3; i1++) { V = &V0->Vertex[i1]; cout<<" ["<<i1<<"]:"<<endl; for (i2=0; i2<3; i2++) cout<<" ["<<i2<<"]:"<< *V[i2]<<endl; } cout<<" Attr: " <<V0->Attr<<endl; } } catch(const std::exception& E) { cout<<E.what()<<endl; } std::cin.ignore(0x100, '\x0A'); }</pre>
--	---

Рис. 17. Тестовая программа отображения содержимого файла в формате STL

Автор: к.т.н. А.Е. Хмельнов

2. Инструментальная платформа разработки программного обеспечения извлечения и трансформации данных из произвольных электронных таблиц

Инструментальная платформа предназначена для ускоренной разработки программных систем извлечения данных из произвольных электронных таблиц, включая задачи автоматического восстановления семантической разметки таблиц, концептуализации их естественно-языкового содержания, очистки и отслеживания происхождения табличных данных, генерации реляционных и связанных данных, а также синтеза исходного кода программ трансформации табличных данных.

Впервые разработаны теоретические основы порождения и исполнения программ трансформации данных от произвольных электронных таблиц к реляционной форме. В частности, спроектирована и реализована принципиально новая объектная модель и формальный язык трансформации табличных данных. По сравнению с конкурентными решениями это позволит работать не только с широко распространенными, но и со специфичными типами произвольных таблиц. В отличие от конкурентных языков, где табличная компоновка задается строго (например, в абсолютных координатах), нами впервые предлагается язык для выражения неизменяемых компоновочных, стилевых и содержательных свойств, разделяемых некоторым набором таблиц. Таким образом, одна программа может обрабатывать существенно более широкий диапазон произвольных таблиц. Кроме того, впервые разработаны инструменты синтеза программных систем трансформации табличных данных от произвольной к реляционной форме.

В отличие от известных средств материализованной интеграции данных, предлагаемая



платформа ориентирована на работу с электронными таблицами со сложной структурой. По сравнению с ними предлагаемое нами решение допускает произвольное расположение функциональных областей и единиц табличных данных, наличие иерархических отношений, выраженных не только компоновочными, но также стилистическими и содержательными свойствами. Современные системы извлечения данных из произвольных электронных таблиц ориентированы на работу с небольшим количеством (1–5) наиболее распространенных типов табличной структуры. В отличие от них разрабатываемая платформа будет использовать гибкую объектную модель таблицы, не ограничивающую физическую (синтаксическую) и логическую (семантическую) структуру обрабатываемых таблиц. Ограничения, которые в конкурентных решениях встраиваются в их алгоритмы и модели, предлагается выносить в высокоуровневое представление на основе правил, обеспечивающее порождение целевых алгоритмов.

Результаты могут использоваться на практике в сфере бизнес-аналитики и науки о данных. Они могут быть положены в основу создания новых наукоемких технологий, продуктов и услуг интеграции слабоструктурированной табличной информации в приложениях аналитики данных. Особенный интерес для их применения представляет аналитика данных в сферах с интенсивным использованием электронных таблиц (например, финансы, экономика, государственное и бизнес-управление).

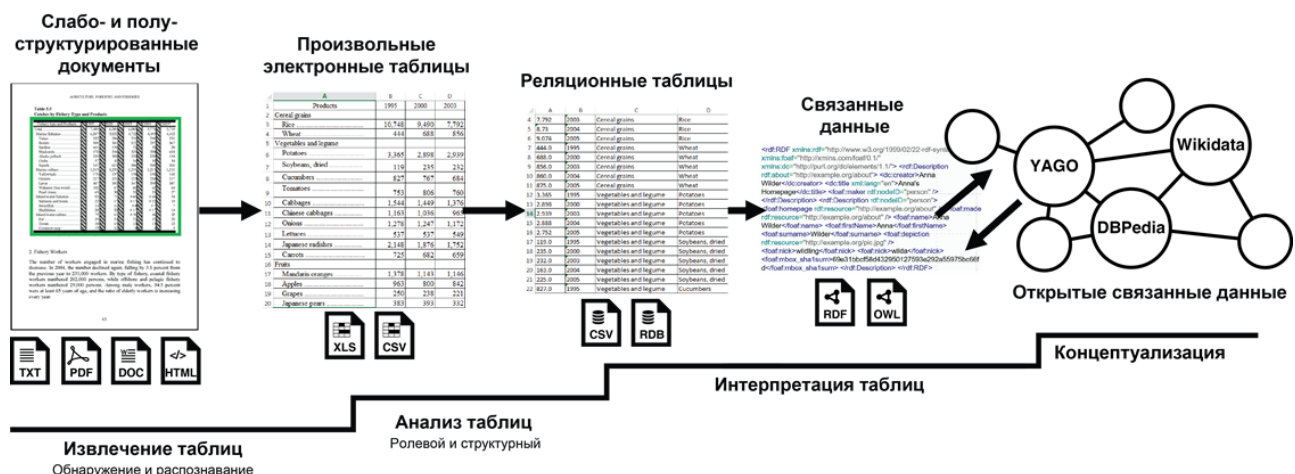


Рис. 18. Автоматическое понимание произвольных таблиц

Авторы: к.т.н. А.О. Шигаров, В.В. Христюк

3. Принципы информационной технологии решения меж- и дисциплинарных задач обеспечения техногенной безопасности на основе самоорганизации

Предложены основные принципы информационной технологии исследования безопасности, где формирование решений (моделирование) осуществляется на основе самоорганизующегося алгоритма, отражающего действия коллектива исследователей и реализующего взаимодействие «решателей» дисциплинарных и междисциплинарных задач различной компетенции и специализации, основанных на применении знаний практически всех общетехнических и специальных инженерных дисциплин, некоторых разделов физики, химии и психологии. Принципы технологии обеспечиваются на основе следующих подходов: обеспечение общего информационного пространства на основе онтологического моделирования, организация взаимодействия специалистов на основе применения методов



группового принятия решений, использование гетерогенного информационного и программного обеспечения при поддержке принципа разделения методов представления и обработки информации на основе компонентного и модельно-ориентированного подходов, поддержка принятия решений путем применения методов обработки знаний, автоматизация и адаптивность управления на основе самоорганизующихся алгоритмов.

Авторы: д.т.н. А.Ф. Берман, д.т.н. О.А. Николайчук, к.т.н. А.Ю. Юрин, к.т.н. А.И. Павлов

4. Инструментальное средство создания продукционных баз знаний на основе модельных трансформаций – Knowledge Base Development System (KBDS)

Разработано инструментальное средство, обеспечивающее автоматизированный анализ, трансформацию концептуальных моделей и генерацию кода продукционных баз знаний на целевых языках представления знаний (CLIPS, OWL). Обладает способностью расширения форматов преобразуемых концептуальных моделей, а также целевых языков представления знаний за счет использования оригинального предметно-ориентированного языка описания моделей трансформаций – Transformation Model Representation Language (TMRL), а также технологии компонентной сборки специализированных моделей-конвертеров. Инструментальное средство использовано при разработке прототипов модулей-конвертеров для анализа и преобразования диаграмм классов UML, концепт-карт SmartTools, диаграмм Исикавы, деревьев событий и отказов. Разработанные программные компоненты использованы при разработке базы знаний экспертной системы прогнозирования развития деградационных процессов аппаратов в нефтехимии.

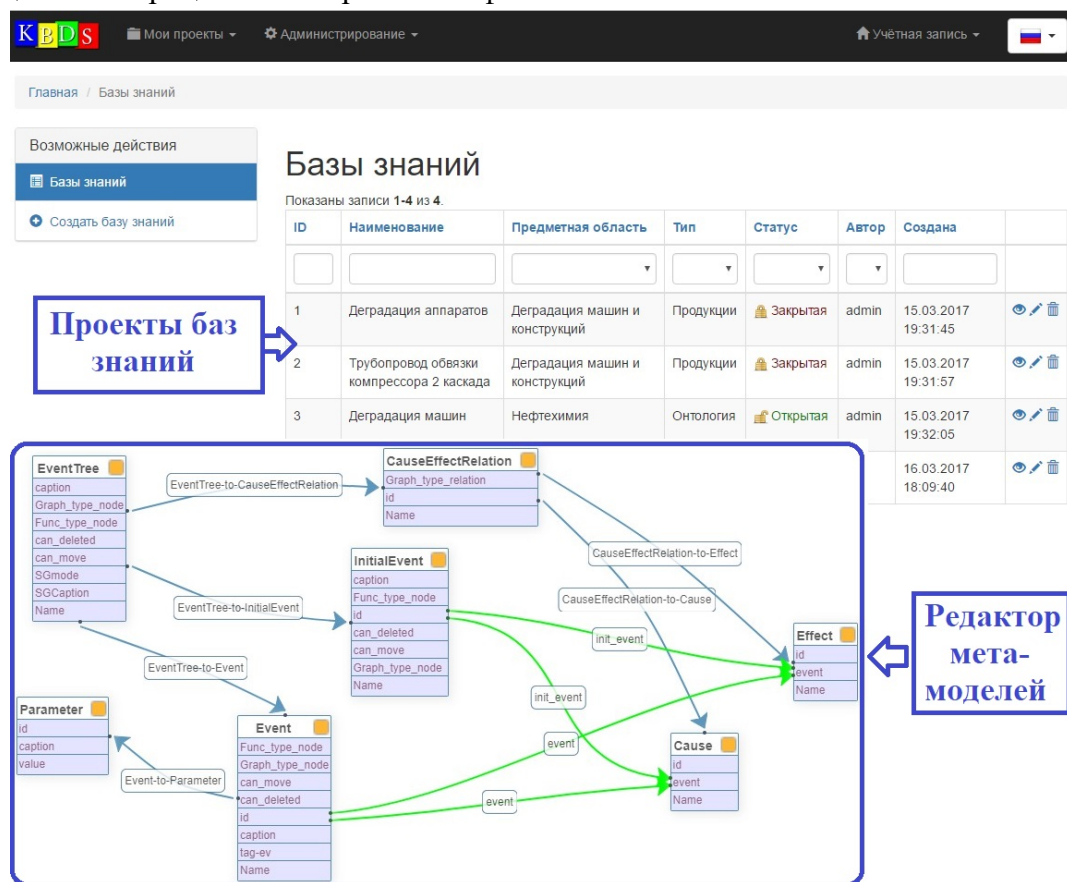


Рис. 19. Пример интерфейса KBDS

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



5. Инструментальное средство прототипирования проблемно-ориентированных интеллектуальных систем поддержки принятия решений – Personal Knowledge Base Designer (PKBD)

Разработано инструментальное средство, обеспечивающее реализацию принципов модельно-управляемого подхода и оригинальной технологии разработки интеллектуальных систем на основе модельных трансформаций и предназначенное для прототипирования продукционных и прецедентных экспертных систем и баз знаний. Инструментальное средство ориентировано на непрограммирующих пользователей и позволяет использовать концептуальные модели и канонические таблицы в качестве источников информации об основных понятиях и отношениях в целевой предметной области.

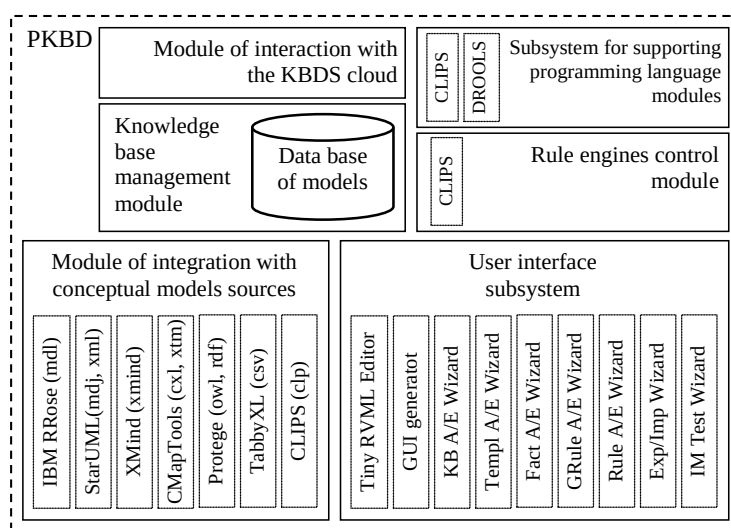


Рис. 20. Архитектура PKBD

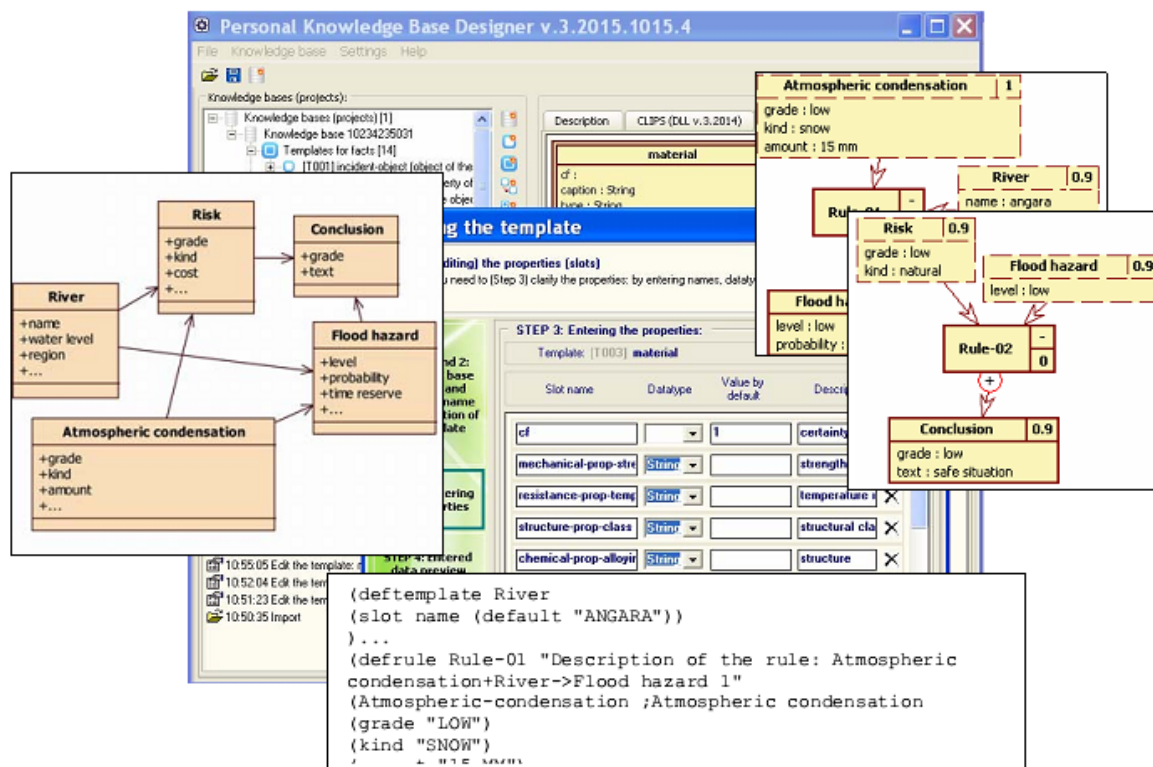


Рис. 21. Пример создания баз знаний на основе трансформации концептуальных моделей

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

6. Технология автоматизации создания мультиагентной системы управления гибридными вычислениями в пакете прикладных микросервисов

Предложена новая технология разработки мультиагентной системы управления гибридными вычислениями в пакете прикладных микросервисов, сочетающая надежность и доступность использования локальных вычислительных ресурсов с эластичностью облачных вычислений. В отличие от аналогичных систем, агенты реализованы на основе микросервисного подхода, обеспечивающего их многократное использование, упрощение процессов развертывания, обновления, тестирования и взаимодействия с помощью легковесных коммуникационных протоколов. Практическое применение разработанных средств (рис. 22) обусловлено ориентацией на решение задач качественного анализа моделей двоичных динамических систем, широко используемых в различных предметных областях.

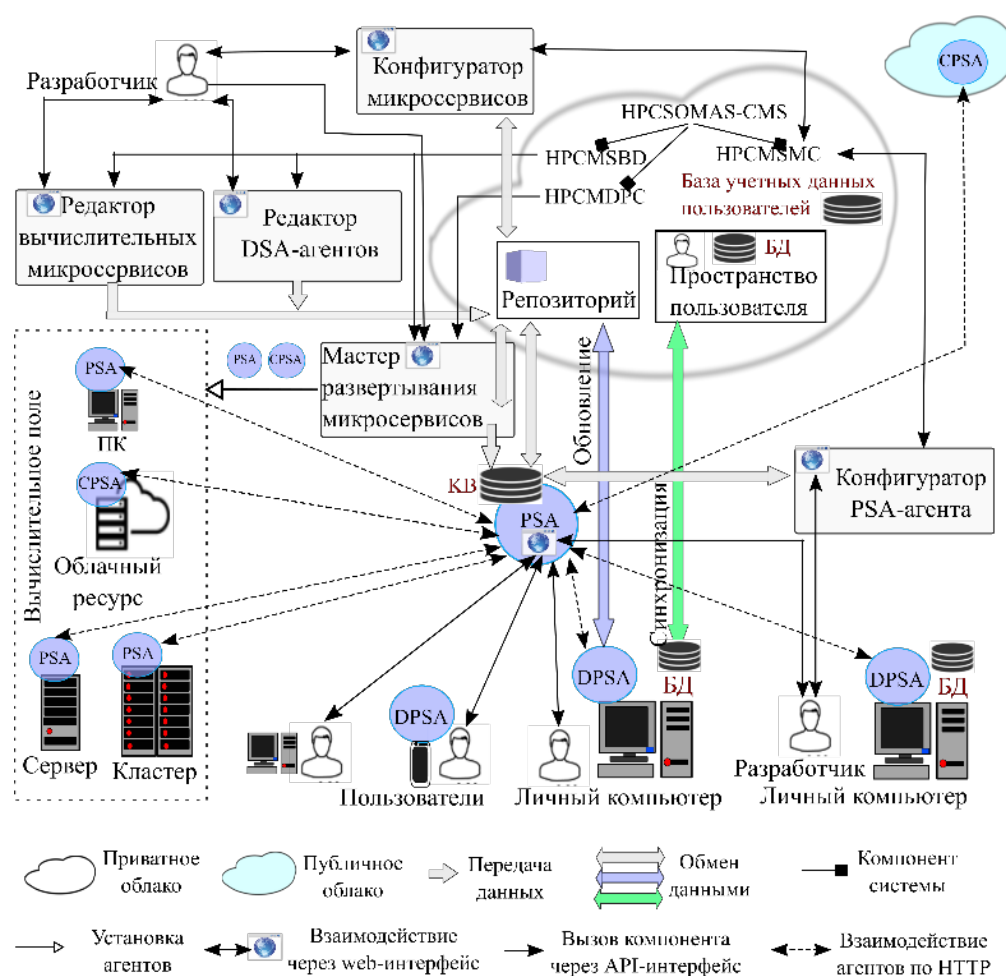


Рис. 22. Архитектура HPCSOMAS-CMS

Авторы: ак. И.В. Бычков, д.т.н. Г.А. Опарин, к.т.н. В.Г. Богданова, А.А. Пашинин,
к.т.н С.А. Горский

7. Схема непрерывной интеграции программного обеспечения научных приложений в гетерогенной распределенной вычислительной среде

Предложена новая схема поддержки непрерывной интеграции прикладного программного обеспечения научных приложений с целью выявления его потенциальных



проблем, возникающих в гетерогенной среде (рис. 23). В рамках данной схемы приложения (распределенные пакеты прикладных программ) создаются с помощью инструментального комплекса Orlando Tools, применяемого в ЦКП «Иркутский суперкомпьютерный центр СО РАН» для организации распределенных вычислений. Процесс разработки приложений характеризуется частыми изменениями программных модулей приложений. В отличие от известных подходов к непрерывной интеграции научных приложений, предложенная схема включает два уровня интеграции: сборку и автоматизированное тестирование отдельных модулей с помощью сторонних систем непрерывной интеграции (GitLab и др.); контроль корректности схем решения задач, включающих различные сочетания модулей и их версий, в Orlando Tools, который также реализует мета-описание процессов непрерывной интеграции на обоих уровнях. Применение предложенной схемы обеспечивает существенное снижение трудозатрат на интеграцию программного обеспечения научных приложений, повышение его надежности и сокращение времени проведения крупномасштабных экспериментов в целом.

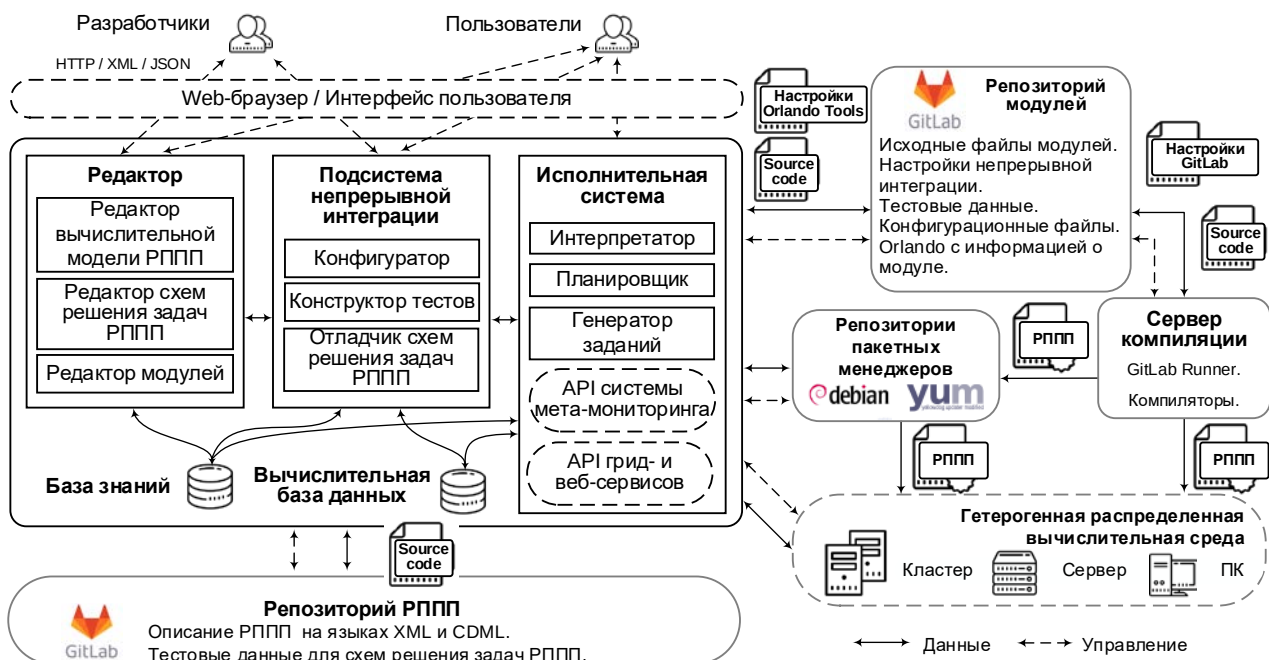


Рис. 23. Схема непрерывной интеграции программного обеспечения научных приложений

Авторы: к.т.н. А.Г. Феокистов, к.т.н. С.А. Горский, к.т.н. И.А. Сидоров, Р.О. Костромин

8. Гибридный эволюционный подход к комплексному мониторингу области разнородной группой автономных транспортных средств

Разработан гибридный эволюционный подход к маршрутизации гетерогенной группы автономных транспортных средств (АТС) при выполнении миссии по комплексному мониторингу. Задача заключается в выработке группового маршрута, обеспечивающего регулярное обследование множества целей на заданном промежутке времени при трех действующих группах ограничений: пространственных (расположение целей, движение и коммуникация АТС), временных (частота и длительность обследований) и функциональных (количество АТС, требуемое для обследования каждой цели). Такие модели маршрутизации,



объединяющие в себе целый спектр ограничений и требований различной природы, относятся к актуальному классу комплексных или мульти-атрибутных задач маршрутизации и нацелены на детальное моделирование реальных задач. Эффективная генерация допустимых маршрутов обеспечивается разработанной модификацией эволюционных алгоритмов с применением специализированных эвристик и операторов, продвинутых схем локального поиска и дополнительных процедур улучшения решений. Предложенный подход демонстрирует высокое качество результатов на большом наборе тестовых задач, в том числе на задачах с высокой степенью гетерогенности множества обследуемых объектов.

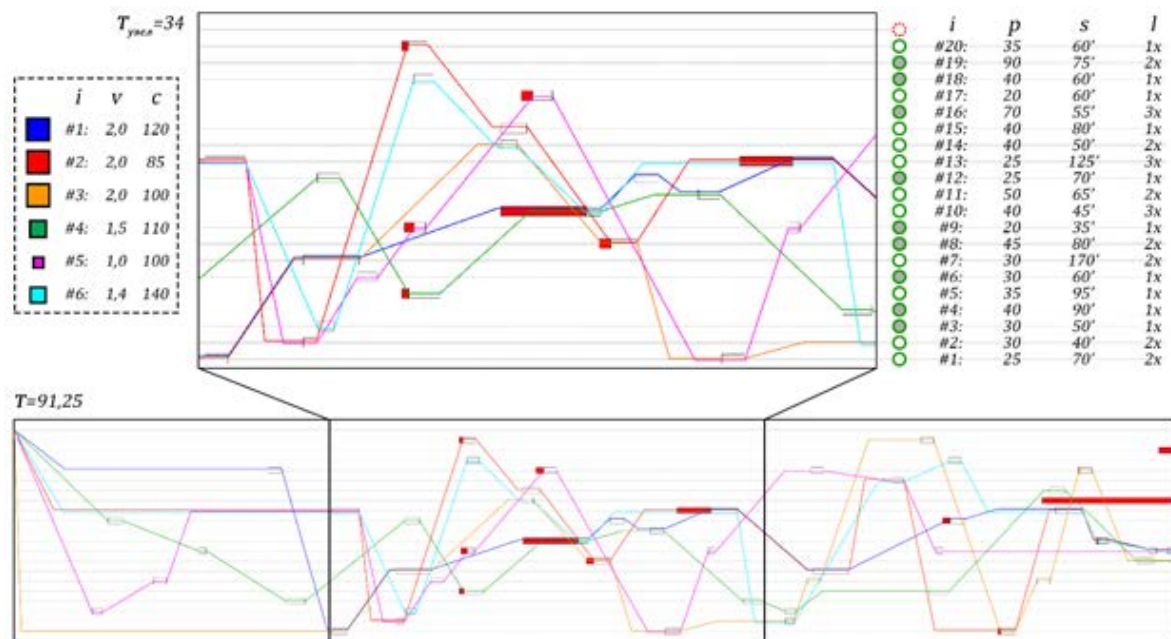


Рис. 24. Графическое представление маршрута в условиях высокой разнородности целей

Авторы: М.Ю. Кензин, ак. И.В. Бычков, к.т.н. Н.Н. Максимкин

9. Новый метаэвристический алгоритм, ориентированный на решение задач псевдобулевой оптимизации и в первую очередь на задачи оптимизации функций типа «черный ящик» (Black-Box functions).

Основная идея алгоритма состоит том, чтобы связать с рассматриваемой функцией f , определенной всюду на n -мерном булевом гиперкубе, множество X , состоящее из n булевых переменных, и построить сюръективное отображение $\mu: X \rightarrow Y$, где $|Y| < n$. Элементы множества Y называются склеенными (merged) переменными. Данное действие дает возможность перейти от задачи оптимизации функции f на булевом гиперкубе к задаче оптимизации вспомогательной функции (μ -сопряженной с f) в специальном пространстве D (μ). Каждое новое отображение вида μ задает новое пространство D (μ), которому соответствует система окрестностей в исходном булевом гиперкубе. Таким образом, описанная метаэвристика может рассматриваться как вариант известного метода локального поиска с переменными окрестностями (Variable Neighborhood Search). Показано, что принцип, основанный на построении отображений вида μ (склеивающие отображения, merging mapping), может быть использован совместно с известным эволюционным алгоритмом (1+1)-EA ((1+1)-Evolutionary Algorithm). Получаемый в результате

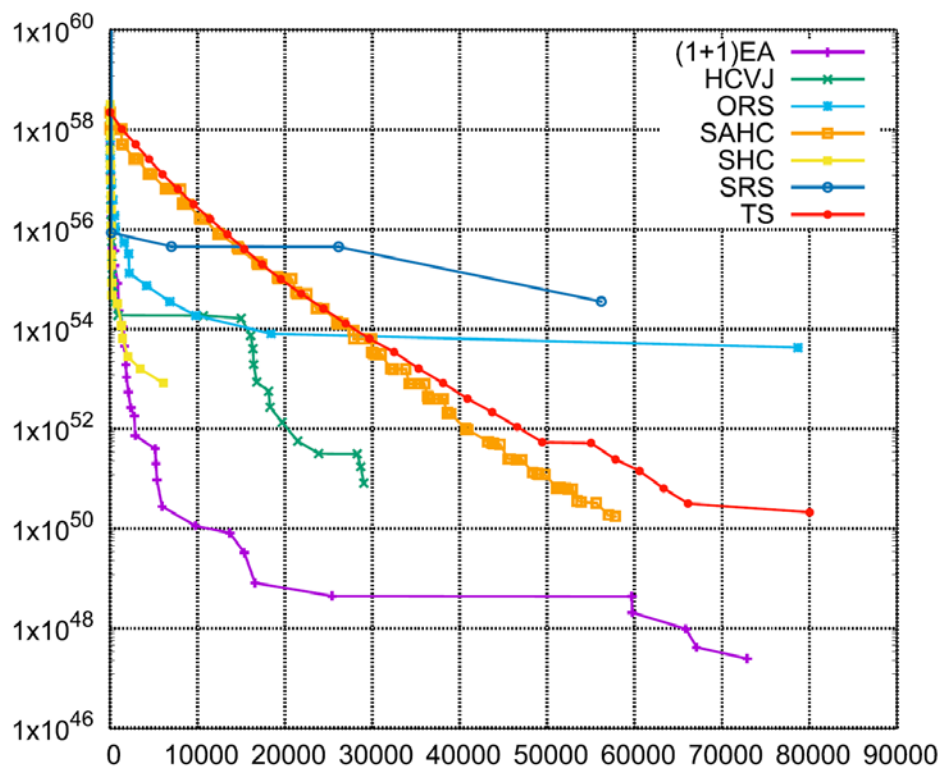


эволюционный алгоритм (1+1)-MVEA ((1+1)-Merging Variable Evolutionary Algorithm) сохраняет важные базовые свойства (1+1)-EA, однако имеет асимптотически лучшую верхнюю оценку сложности.

Автор: к.т.н. А.А. Семенов

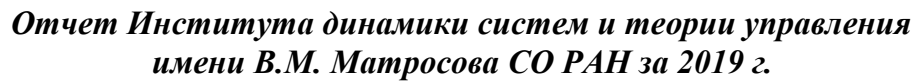
10. Новые алгоритмы оптимизации прогнозных функций, предназначенных для поиска декомпозиций трудных экземпляров проблемы булевой выполнимости (SAT)

Разработаны новые алгоритмы оптимизации прогнозных функций, предназначенных для поиска декомпозиций трудных экземпляров проблемы булевой выполнимости (SAT). Такие декомпозиции позволяют свести решение трудной исходной SAT-задачи к решению семейства более простых SAT-задач. Разработанные алгоритмы оптимизации были реализованы в форме параллельной программы. С помощью данной программы, запущенной на суперкомпьютере, были построены декомпозиции для трудных SAT-задач, кодирующих криптоанализ следующих поточных шифров: Trivium, Rabbit, Grain_v1, Mickey. Эти шифры являются финалистами европейского конкурса eSTREAM. На рис. 25 представлен процесс минимизации прогнозных функций для SAT-задачи, кодирующей криптоанализ шифра Mickey. При этом были использованы семь алгоритмов оптимизации (TS, SRS, SHC, SAHC, ORS, HCVJ, (1+1)-EA). Ось абсцисс соответствует времени (в секундах), которое прошло с момента начала работы алгоритма оптимизации. Ось ординат соответствует значению целевой функции (в секундах) для одного ядра процессора. С помощью указанного подхода были решены ослабленные задачи криптоанализа шифров Grain_v1 и Trivium.



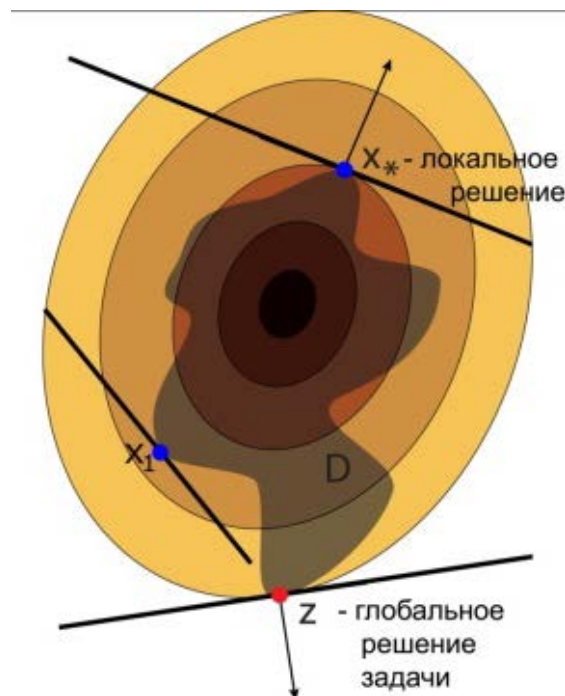
(b) Mickey

Рис. 25. Процесс минимизации прогнозных функций для шифра Mickey



Авторы: к.т.н. О.С. Заикин, С.Е. Кочемазов

Для общей задачи математической оптимизации, где целевая функция и ограничения типа равенства и неравенства заданы д.с. функциями (т.е. представимыми в виде разности двух выпуклых функций), доказаны новые условия глобальной оптимальности, характеризующие именно глобальные решения задачи. Этот результат связан с классической теорией экстремума, например, теорема Каруша-Куна-Таккера вытекает из этих условий как частный случай. Кроме того, полученные теоремы сводят решение общей невыпуклой задачи к рассмотрению семейства выпуклых задач, что открывает возможности использования классических методов оптимизации, а также современных пакетов программ для решения невыпуклых прикладных задач. На новом теоретическом фундаменте разработана новая схема поиска именно глобальных решений в сложных практических задачах экономики, управления, энергетики, военного планирования технического проектирования и искусственного интеллекта и т.д., и т.п.



Автор: д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский



РЕЗУЛЬТАТЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОГРАММАМ СО РАН

В соответствии с Планом НИР и Государственным заданием на 2019 год выполнялись исследования по 7 научным (базовым) темам в рамках двух приоритетных направлений и программ фундаментальных исследований СО РАН на 2017–2020 гг.

I. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Приоритетное направление 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МАТЕМАТИКА

Программа I.1.4. Исследование задач динамики и управления: качественный и численный анализ

Координатор программы: чл.-к. РАН А.А. Толстоногов

Тема I.1.4.1. Эволюционные уравнения и управляемые системы: теория, численный анализ и приложения

№ гос. регистрации: АААА-А17-117032210080-7

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

Изучены правила вычисления плотностей борелевских мер, абсолютно непрерывных относительно положительной неатомической меры Радона. Борелевские меры порождены сложными функциями, которые зависят от определенных на отрезке непрерывных функций ограниченной вариации. Исследованы вопросы абсолютной непрерывности борелевских мер, порожденных сложными функциями, относительно положительной меры Радона и правила вычисления плотностей борелевских мер, порожденных сложными функциями, относительно положительной неатомической меры Радона (*автор: чл.-к. РАН А.А. Толстоногов*).

Рассмотрена дифференциально-алгебраическая система уравнений в частных производных второго порядка. Для такой системы построена сплайн-коллокационная разностная схема, основанная на аппроксимации искомой функции бикубическим сплайном, представленным в виде разложения по базису из нормализованных В-сплайнов (*автор: к.ф.-м.н. С.В. Свинина*).

Для нестационарных систем ДАУ исследован вопрос о робастной управляемости с возмущениями, заданными в виде матричных норм, присутствующими в матрицах при искомой вектор-функции и вектор-функции управления. Задача робастной управляемости заключается в нахождении условий, при которых возмущенная система (система с неопределенностью) сохранит свойства управляемости на некотором отрезке при наличии этого свойства у исходной (номинальной) системы. Получены достаточные условия робастной полной и R-управляемости нестационарных ДАУ. Системой ДАУ, к примеру, можно описать модель химического реактора изомеризации с внешним охлаждением (см. рис. 1). При этом параметры реактора, такие как концентрация, температура, скорость реакции, могут определяться с некоторыми погрешностями, что можно описать в виде неопределенности (*автор: к.ф.-м.н. П.С. Петренко*).



Разработан и обоснован новый метод исследования асимптотического поведения решений неавтономных разрывных систем с измеримой по совокупности аргументов правой частью. Полученные результаты носят форму обобщений принципа инвариантности Ла-Салля с использованием функций Ляпунова со знакопостоянной производной. Полученные результаты применяются к исследованию механических систем с сухим трением в общей форме уравнений Лагранжа 2-го рода с параметрами, зависящими от времени (коэффициентами трения и инерции) (автор: д.ф.-м.н. И.А. Финогенко).

Предложены и обоснованы новые коллокационно-вариационные разностные схемы с несколькими точками коллокации первого и второго порядков. Их построение основано на решении специальных задач квадратичного программирования. Данные алгоритмы исследованы на жестком уравнении Далквиста на предмет А- и L-устойчивости. Проведено сравнение созданных методов с известными (методами типа Рунге-Кутты, классическими многошаговыми методами и др.) на ряде тестовых примеров. Данные расчеты показали преимущество предлагаемых схем, они просты в программной реализации и не требуют вычисления проекторов и производных входных данных. Были проведены численные эксперименты для ДАУ индекса не выше двух, у которых правая часть задана с возмущением в метрике С. Было выявлено, что коллокационно-вариационные схемы обладают свойством саморегуляризации. В качестве параметра регуляризации выступает шаг сетки, который выбирают из принципа невязки (авторы: д.ф.-м.н. М.В. Булатов, к.ф.-м.н. Л.С. Соловарова).

Рассмотрены системы дифференциально-алгебраических уравнений, возмущенные оператором Фредгольма. Для таких систем получены условия разрешимости и исследована устойчивость к возмущениям входных данных. В рамках теоремы существования построен численный метод на основе метода наименьших квадратов, доказана его сходимость (авторы: д.ф.-м.н. В.Ф. Чистяков, к.ф.-м.н. Е.В. Чистякова).

Рассмотрена динамическая система, состоящая из линейного закона сохранения и обыкновенного дифференциального уравнения, в который входит управляющий параметр. Подобные системы, как правило, используются для описания движения материальной точки, взаимодействующей с некоторым распределенным объектом. Для задачи оптимального управления такой системой найдено необходимое условие оптимальности в форме принципа максимума Понтрягина (автор: к.ф.-м.н. Н.И. Погодаев).

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).

Разработана схема улучшения управления для негладкой задачи оптимального управления с терминальным функционалом, который задается произвольной липшицевой функцией. Метод основан на равномерной аппроксимации целевой функции квадратичной inf-конволюцией Моро-Иосиды, которая является как полувогнутой, так и DC-функцией с



гладкой выпуклой составляющей (тип квадрата нормы) и негладкой вогнутой. Такая структура аппроксимирующей функции позволяет использовать для итерационного улучшения управления аппроксимативный позиционный принцип минимума для субоптималей задачи, причем без предположения выпуклости множества скоростей динамической системы и введения обобщенных управлений (скользящих режимов). Предшествующие результаты охватывали только случай проксимально супердифференцируемой целевой функции или разности гладкой и выпуклой функций непосредственно в исходной постановке задачи (*автор: д.ф.-м.н. В.А. Дыхта*).

Изучены вопросы существования решения и получения условия оптимальности для разрывных управляемых процессов с гистерезисной нелинейностью. Рассмотрена задача оптимального управления с гистерезисной нелинейностью, заданной векторным Play оператором, и разрывными траекториями ограниченной вариации. Доказана теорема существования оптимального решения и предложен метод доказательства необходимых условий оптимальности. Предложено расширение Play оператора на входы ограниченной вариации и изучен вопрос разрешимости совместной системы, состоящей из дифференциального уравнения с мерой и дифференциального вариационного неравенства (*автор: к.ф.-м.н. О.Н. Самсонок*).

Рассмотрен класс нелинейных импульсно-гибридных систем в форме дифференциального уравнения в мерах с явным представлением скачков траекторий, задаваемым с помощью абстрактного замкнутого отношения односторонних пределов в точках скачка, без предположений типа робастности. Для таких систем и связанных с ними задач оптимального управления развит аппарат сингулярных пространственно-временных представлений. На основе последнего построено релаксационное расширение изучаемого класса систем в подходящей (достаточно слабой) топологии пространства функций ограниченной вариации. При стандартных предположениях регулярности показано существование решения задачи оптимального управления. Подход основан на разрывной замене времени и преобразовании разрывного решения в фазе импульса, согласованном с предложенным ранее методом аппроксимации траекторий импульсно-гибридной системы непрерывными процессами. Заметим, что для систем общего вида аппроксимация разрывной траектории требует наличия двух непрерывных процессов сравнения, приближающих односторонние пределы разрывной функции и независимых друг от друга (*авторы: к.ф.-м.н. Е.В. Гончарова, к.ф.-м.н. М.В. Старицын*).

Разработан и реализован численный метод приближенного решения задачи оптимального управления на основе нелокального условия оптимальности. Соответствующий алгоритм опирается на предварительное формирование набора успешно решенных задач с дальнейшей экстраполяцией заложенных в базе оптимальных решений. Рассматривается однопараметрическое семейство задач оптимального управления, по единственному параметру которого формулируется и решается набор точечных задач. С использованием традиционных нелокальных методик анализа данных на основе полученной «обучающей выборки» строятся приближения к решению целого семейства задач оптимального управления, каждая из которых соответствует определенному значению параметра. Для проверки качества сформированных приближений полученный результат



используется как начальное значение в локальном алгоритме оптимизации, глубина спуска которого и может выступать в качестве оценки эффективности предложенного способа экстраполяции имеющихся точечных решений. Задачи оптимального управления в предложенной схеме решаются с использованием метода приведенного градиента, для построения нелокальной экстраполяции применяется метод Шепарда (*авторы: к.т.н. Т.С. Зароднюк, к.ф.-м.н. С.П. Сорокин*).

Разработанные алгоритмы апробированы при численном решении задач, полученных путем дискретизации прикладных задач оптимального управления с непрерывным временем. Для этой цели использовались как классические хорошо известные модели, так и их модификации, позволяющие генерировать дополнительные вычислительные трудности для разработанных алгоритмов: модель Видала-Вулфа оптимизации рекламной стратегии фирмы, модель экономического роста Мэнкью-Ромера-Вейла, неоклассическая модель экономического роста (модель Солоу) и другие. Исходные постановки хорошо изучены, в том числе аналитически, что позволило провести сравнение полученных с помощью разработанных алгоритмов результатов с известными решениями и убедиться в их эффективности для исследования управляемых динамических моделей (*авторы: к.т.н. Т.С. Зароднюк, д.т.н. А.Ю. Горнов, к.ф.-м.н. С.П. Сорокин, А.С. Аникин, П.С. Сороковилов*).

Реализованы модификации метода Л.С. Понтрягина, позволяющие находить нелокальные решения задач оптимального управления. Предлагаемый подход опирается на построение расширенной системы дифференциальных уравнений, включающей исходные и сопряженные уравнения. Для формирования соответствующей задачи Коши используются известные значения начальных фазовых координат и стартовые значения сопряженных переменных, выбираемые для двумерного случая с окружности единичного радиуса, для трехмерного – с единичной сферы. Для задач большей размерности с использованием технологии параллельного программирования Nvidia CUDA для графических ускорителей реализован стохастический способ генерации значений сопряженного вектора в начальный момент времени с дальнейшим параллельным запуском процедуры интегрирования динамической системы. Результаты проведенных экспериментов позволили продемонстрировать эффективность применения технологий распараллеливания вычислительных процессов для численного решения задач оптимального управления (*авторы: д.т.н. А.Ю. Горнов, А.С. Аникин, к.т.н. Т.С. Зароднюк*).

Разработана технология решения задач аппроксимации интегральной воронки для полиэдрально управляемых динамических систем. Эффективным подходом к исследованию подобных задач является метод стохастической аппроксимации в комбинации с алгоритмами генерации управляющих воздействий релейного типа с фиксированным числом точек переключения, использующийся для решения задач фазового оценивания и оптимального управления с ограничениями более простой структуры. Предложенная вычислительная технология включает также программные реализации методов интегрирования систем дифференциальных уравнений, генерации управляющих воздействий, глобальной оптимизации, а также обобщенные методы аппроксимации множества достижимости для задач с полиэдральными ограничениями на управляющие воздействия (*авторы: д.т.н. А.Ю. Горнов, к.т.н. Т.С. Зароднюк, А.С. Аникин, П.С. Сороковилов*).



Тема I.1.4.2. Развитие математических методов описания процессов в физике высоких энергий, высокотемпературной плазме и механике сплошных сред

№ гос. регистрации: АААА-А17-117032210076-0

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

Построена гамильтонова теория для коллективных продольно-поляризованных бесцветных возбуждений (плазмонов) в высокотемпературной глюонной плазме. Для этого был применен общий формализм построения теории волн в нелинейных средах с дисперсией, развитый В.Е. Захаровым. В рамках данного подхода получено в явном виде специальное каноническое преобразование, позволяющее упростить гамильтониан взаимодействия мягких глюонных возбуждений и тем самым определить новый эффективный гамильтониан. Развитый подход использован далее для построения кинетического уравнения бозе-маевского типа, которое описывает процесс упругого рассеяния коллективных продольно-поляризованных возбуждений в глюонной плазме и эффект так называемого нелинейного затухания Ландау. Проведено детальное сравнение эффективной амплитуды плазмон-плазмонного взаимодействия, найденной в рамках классической гамильтоновой теории, и соответствующего матричного элемента, вычисленного в рамках высокотемпературной квантовой хромодинамики, что позволило определить границы справедливости чисто классического подхода, представленного в работе.

В рамках формализма Баба-Мадхаварао предложен самосогласованный подход вывода системы волновых уравнений четвертого порядка для описания частицы со спином $3/2$. Для этой цели были введены в рассмотрение дополнительный алгебраический объект, так называемый q -коммутатор и новый набор матриц η_μ вместо исходных β_μ -матриц. Было проведено соответствующее обобщение полученных результатов на случай присутствия в системе внешнего электромагнитного поля (*авторы: д.ф.-м.н. Ю.А. Марков, д.ф.-м.н. М.А. Маркова, А.И. Бондаренко*).

Предложен метод восстановления полей Бельтрами по известным из эксперимента интегральным данным (лучевым преобразованиям). Метод использует представление векторного поля в виде мультипольного разложения по векторным волновым функциям. Получены аналитические выражения лучевых преобразований для базисных векторных волновых функций. Коэффициенты разложения для модельного поля были вычислены с использованием регуляризованного метода наименьших квадратов (*автор: д.ф.-м.н. А.Л. Баландин*).

Построены новые точные и приближенные решения нелинейного уравнения теплопроводности, в том числе с источником (стоком), имеющие тип тепловой волны, которая движется по холодному (нулевому) фону с конечной скоростью. Точные решения получены путем редукции исходного нелинейного дифференциального уравнения с частными производными к обыкновенным дифференциальным уравнениям различного вида. Приближенные решения строятся двумя способами: а) с использованием авторского метода, основанного на гранично-элементном подходе; б) в виде степенных рядов, коэффициенты которых определяются при решении систем линейных алгебраических уравнений. Полученные результаты пригодны для сравнения как между собой, так и с ранее полученными решениями. Их анализ позволил сделать содержательные выводы о свойствах соответствующих тепловых волн. Кроме того, при построении рядов доказаны новые теоремы существования и единственности решений краевых задач для рассмотренных



уравнений в классе аналитических функций (авторы: д.ф.-м.н. А.Л. Казаков, к.ф.-м.н. П.А. Кузнецов).

Была расширена модель со скалярным и псевдоскалярным секторами взаимодействия с включением векторных и аксиально-векторных частиц. Показано, что в результате смешивания между псевдоскалярными мезонами и продольной компонентой аксиально-векторных состояний, псевдоскалярные состояния приобретают дополнительную компоненту. Такое смешивание не меняет природу пиона как частицы Голдстоуна, а вклад дополнительной компоненты в константу слабого распада пиона представляет собой небольшую поправку к вкладу основной структуры. Исследования адронных поправок в аномальный магнитный момент от процесса рассеяния света на свете считаются важными благодаря утверждению Мельникова и Вайнштейна, что аксиально-векторные мезоны могут давать заметный вклад. Однако расчеты в нелокальной киральной кварковой модели показали, что такой сценарий не выполняется, и вклад аксиально-векторных мезонов существенно меньше вклада псевдоскаляров (автор: к.ф.-м.н. А.Е. Раджабов).

Исследован бесконечный класс многократных сумм, возникающих в непрерывном пределе дифференциально-разностных эволюционных уравнений. Доказан ряд утверждений о представлении этих сумм соответствующими многочленами. Полученные результаты обобщают известные классические результаты для обычных сумм степеней последовательных натуральных чисел (автор: к.ф.-м.н. А.К. Свинин).

Изучена нелинейная система двух дифференциальных уравнений эллиптического типа с нелинейностями, зависящими от произведения степеней искомых функций

$$\Delta\psi = \psi F(\psi^\alpha a^\beta), \quad \Delta a = a G(\psi^\alpha a^\beta), \quad (1)$$

где $\alpha + \beta \neq 0$, α, β – произвольные параметры. Получены условия, при выполнении которых систему (1) удастся свести к одному уравнению. Доказана соответствующая теорема редукции. Выделены случаи правых частей системы (1), для которых найдены классы точных решений, выражаемых через элементарные и гармонические функции, и решения известного уравнения Лиувилля.

Исследована система двух нелинейных уравнений в частных производных четвертого порядка. Правые части системы уравнений содержат многомерные аналоги уравнения Буссинеска, выражаемые через двукратные операторы Лапласа и квадраты градиентов искомых функций, а также линейные функции взаимосвязи. Точные решения отыскиваются в виде анзаца, содержащего квадратичную зависимость от пространственных переменных и произвольные функции от времени. Использование предложенного анзаца позволяет декомпозировать процесс отыскания компонент решения, зависящих от пространственных переменных и от времени. Найдено общее решение этой системы уравнений в параметрическом виде. Для отыскания компонент решения исходной системы, зависящих от времени, возникает система нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений. Эта система сведена к одному уравнению четвертого порядка, для которого найдены частные решения. Приводится ряд примеров точных решений исходной системы уравнений типа Буссинеска, в том числе выражаемые через функции Якоби по времени и анизотропные по пространственным переменным.

Рассмотрена система реакции-диффузии, моделируемая двумя нелинейными уравнениями в частных производных параболического типа со степенными нелинейностями. Построено семейство точных решений, выражаемых через полиномы второй степени по пространственным переменным и функции времени, удовлетворяющие линейным обыкновенным дифференциальным уравнениям. Найдены условия, выделяющие из этого



семейства периодические по времени точные решения системы реакции-диффузии (автор: к.ф.-м.н. Э.И. Семенов).

Рассмотрен вклад в электрический дипольный момент (ЭДМ) нейтрона за счет CP-нарушенных распадов η и η' мезонов в пару π -мезонов. В рамках псевдоскалярного подхода взаимодействия псевдоскалярных мезонов и нуклонов данный вклад генерируется за счет двухпетлевого вклада. Получена зависимость ЭДМ нейтрона от констант распада CP-нарушенного перехода η - и η' - мезонов в пару π -мезонов. Вклад CP-нарушенных распадов η - и η' - мезонов вычислен с учетом как электрического заряда, так и магнитных моментов нуклонов. Показано, что вклад, генерируемый за счет магнитных моментов нуклонов, подавлен по сравнению с вкладом за счет учета взаимодействия внешнего электромагнитного тока с заряженными нуклонами или π -мезонами. Ограничения, полученные на ширину распада η - и η' - мезонов в пару π -мезонов из данных по измерению ЭДМ нейтрона, в $10^{12} - 10^{14}$ раз меньше, чем верхняя граница на данный распад, полученная коллаборацией LHCb в 2016 году. Используя соотношение между константой связи CP-нарушенных распадов η и η' мезонов в пару пионов и θ -углом вакуума квантовой хромодинамики, из правила сумм была сделана оценка сверху на величину CP-нарушения в секторе сильного взаимодействия (автор: к.ф.-м.н. А.С. Жевлаков).

Проведено исследование численного метода решения уравнения осцилляции нейтрино в среде при помощи разложения Магнуса. Целью исследования ставились реализация алгоритма M4 и оценка его чувствительности к вариации параметров. Разложение Магнуса представляет собой разложение матричной экспоненты от оператора, зависящего от параметра, при условии, что этот оператор при разных значениях параметра не коммутирует сам с собой. Такие задачи возникают при решении уравнений типа Шредингера, в частности, при исследовании осцилляций нейтрино в среде. Рассматривались две модели: Солнца и сверхновой, заданных профильными функциями плотности. Внешними параметрами моделей выступали углы смешивания нейтрино, квадраты разности масс нейтрино, управляющий параметр алгоритма. На рис. 27 и 28 представлено сравнение работы данного алгоритма с результатами работы алгоритма других авторов.

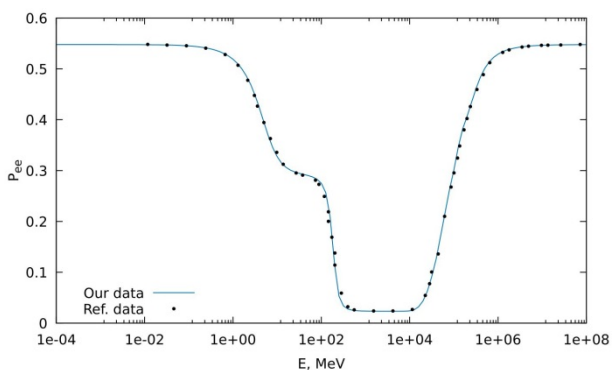


Рис. 27. Модель Солнца

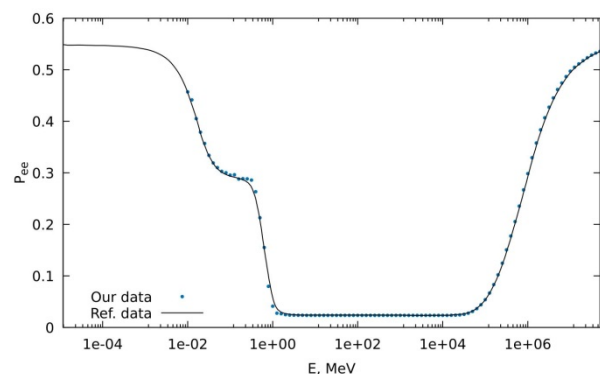


Рис. 28. Модель сверхновой

В качестве промежуточного результата можно сделать вывод о том, что изменение углов смешивания оказывает влияние на разных интервалах диапазона энергии нейтрино, можно выбрать оптимальное значение для «управляющего» параметра алгоритма, не приводящее к неустойчивости результата в силу особенностей численных расчетов с использованием «плавающей» арифметики (автор: к.ф.-м.н. В.П. Ломов).



Тема I.1.4.3. Качественный анализ динамических свойств и синтез управлений гибридными механическими системами с развитием средств компьютерной алгебры и средств численной реализации

№ гос. регистрации: АААА-А17-117032210082-1

Научный руководитель – д.т.н. Э.И. Дружинин

С помощью разработанного ранее программного обеспечения исследована динамика вращательного движения по круговой орбите спутника-гиростата в центральном ньютоновском поле сил. Рассмотрен общий случай произвольного расположения постоянного вектора гиросtatического момента системы с главными центральными моментами инерции гиростата, не равными друг другу. В символьном виде на компьютере построены линеаризованные уравнения возмущенного движения в окрестности относительного равновесия системы, и получены необходимые условия его устойчивости (*автор: к.ф.-м.н. А.В. Банищikov*).

Гиростат движется в центральном ньютоновском поле сил вокруг притягивающего центра так, что его центр масс перемещается по кеплеровой круговой орбите с постоянной орбитальной угловой скоростью. В соответствующем трехмерном евклидовом пространстве с использованием специальных агрегированных параметров предлагается относительные равновесия системы (состояния покоя в орбитальной системе координат) определять по координатам точек пересечения двух пар соответствующих гиперболических цилиндров со сферой единичного радиуса. Показано, что при любой величине гиросtatического момента и других параметрах системы имеется, по крайней мере, восемь различных относительных равновесий (*автор: к.ф.-м.н. С.В. Чайкин*).

Для двух различных пучков (конечных, счетных или даже континуальных) нелинейных динамических процессов типа «траектория, управление», индуцированных в сепарабельном гильбертовом пространстве некоторой заданной нестационарной гиперболической системой, но с разными полилинейными регуляторами, получены достаточные условия разрешимости задачи реализации оператор-функций общего (инвариантного) полилинейного регулятора, при наличии которого в структуре данной гиперболической системы объединение этих динамических пучков представляет фиксированное семейство ее допустимых решений. Исследование проведено на основе изучения свойства полуаддитивности нелинейного функционального оператора Релея–Ритца (*авторы: д.ф.-м.н. А.В. Лакеев, д.ф.-м.н. В.А. Русанов*).

На базе модификации функционального оператора Релея–Ритца для непрерывной нелинейной бесконечномерной управляемой бихевиористической системы (динамической системы Я. Виллемса) получены (в форме принципа максимума энтропии) необходимые и достаточные условия существования шести нестационарных операторов модели дифференциальной реализации этой системы в классе обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка (в том числе гиперболической) с фиксированной билинейной структурой в сепарабельном гильбертовом пространстве (*авторы: д.ф.-м.н. А.В. Лакеев, д.ф.-м.н. В.А. Русанов*).

Исследована задача вычисления предпочтительной системы дифференциальной реализации в семействе подобных моделей «объект–регулятор–наблюдатель», индуцированных группами преобразований над идентифицированной динамической



системой второго порядка. Получены теоремы существования трансформирующей матрицы (апостериорного базиса конфигурационного пространства) в группах преобразований $GL_n(\mathbb{R})$ и SO_n , обеспечивающей минимум рассогласования матрицы позиционных сил от ее эталонно-нормативных (расчетных) параметров. На основе теории Морса построено нелинейное матричное характеристическое уравнение оптимального процесса SO_n -юстировки. Результаты статьи имеют приложения в дифференциальном прецизионном моделировании вынужденных колебаний, генерируя постановки в бесконечномерном случае (автор: д.ф.-м.н. В.А. Русанов).

На основе обобщений метода Рауса-Ляпунова и применения методов компьютерной алгебры проведен качественный анализ уравнений движения волчка Ковалевской в двойном постоянном поле сил. Задача решалась в исходном фазовом пространстве системы. В рамках проведенного исследования установлено, что в случае параллельных силовых полей уравнения движения тела имеют семейства перманентных вращений, в случае ортогональных – движения маятникового типа, при специальной ориентации силовых полей – семейства положений равновесия. Показано, что решения принадлежат либо одному из двух инвариантных многообразий коразмерности 2, либо их пересечению. Для найденных решений получены необходимые и достаточные условия устойчивости по Ляпунову (авторы: д.ф.-м.н. В.Д. Иртегов, к.т.н. Т.Н. Титоренко).

Рассматривалась задача о вращательном движении твердого тела с неподвижной точкой под действием сил, порожденных эффектом Барнетта–Лондона, а также потенциальных сил. Предложен алгоритм нахождения линейных инвариантных многообразий (ИМ) уравнений движения тела, опирающийся на методы компьютерной алгебры. При помощи данного алгоритма получены ИМ коразмерности 1, которые использовались при качественном анализе уравнений. Найденны перманентные вращения тела (и их семейства), а также ИМ, которым эти движения принадлежат. Для ряда решений получены достаточные условия устойчивости по Ляпунову или доказана их неустойчивость (авторы: д.ф.-м.н. В.Д. Иртегов, к.т.н. Т.Н. Титоренко).

Предложено несколько алгоритмов построения нелинейных комбинаций первых интегралов задачи для качественного анализа консервативных систем с помощью метода Рауса–Ляпунова. Среди них построение огибающей линейной связки интегралов, аналогичная задача для интеграла, найденного с помощью цепочки дифференциальных следствий уравнений движения, получение такой комбинации с помощью поднятия в исходное фазовое пространство первого интеграла уравнений движения на инвариантном многообразии и другие. На задачах о движении твердого тела, системы твердых тел, твердого тела в жидкости, расширении газового облака, уравнений Эйлера на алгебрах Ли показано, что предлагаемое расширение разнообразия первых интегралов позволяет получить новые результаты при качественном анализе систем с первыми интегралами (авторы: д.ф.-м.н. В.Д. Иртегов, к.т.н. Т.Н. Титоренко).

В задаче о вращении твердого тела вокруг неподвижной точки вторым методом Ляпунова с применением системы аналитических вычислений проведено исследование устойчивости некоторых стационарных движений нелинейной механической автономной консервативной системы, допускающей частный интеграл Гесса.

Установлена устойчивость состояния покоя в случае, когда центр масс расположен ниже начала координат и неустойчивость в ином случае.



Для перманентного вращения показано выполнение необходимых условий устойчивости в исключительных случаях, когда характеристическое уравнение, составленное по матрице правой части дифференциальных уравнений возмущенного движения, допускает четыре нулевых корня. Построением функции Ляпунова связкой Четаева из первых интегралов возмущенного движения установлена формальная устойчивость выделенного перманентного вращения (*автор: д.ф.-м.н. М.А. Новиков*).

Получены необходимые и достаточные условия внутренней устойчивости формаций, динамика которых определяется линейными дифференциальными уравнениями. При этом в качестве классов допустимых управлений для лидеров выбраны программные управления, а для объектов, имеющих ведущих – аффинные обратные связи, зависящие от состояния самого объекта и состояний его ведущих. Полученные условия легко проверяемы и состоят из требований стабилизируемости пары матриц для уравнений ведомых объектов, гурвицевости и совпадения матриц для лидеров в случае многолидерности, разрешимости некоторых линейных уравнений и ограничений типа равенств на вектора, задающие требуемое взаимное расположение между ведомым и ведущим. Кроме того, описан весь класс управлений, обеспечивающих выполнение свойства линейной внутренней устойчивости.

Опираясь на полученные условия, удалось показать, что внутренней устойчивостью могут обладать практически только однолидерные формации.

В классе формаций с одним лидером выделен подкласс (формации, граф которых является входящим деревом), в котором не возникает ограничений типа равенств, являющихся основным препятствием для внутренней устойчивости многолидерных формаций (*автор: д.ф.-м.н. А.В. Лакеев*).



IV. ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Приоритетное направление IV.38. Проблемы создания глобальных и интегрированных информационно-телекоммуникационных систем и сетей, развитие технологий и стандартов GRID

Программа IV.38.1. Методы и технологии создания и интеграции гетерогенных распределенных информационно-вычислительных ресурсов для поддержки междисциплинарных научных исследований на основе сервис-ориентированной парадигмы

Координатор программы: ак. И.В. Бычков

Тема IV.38.1.1. Технологии разработки проблемно-ориентированных самоорганизующихся мультиагентных систем группового управления: методы, инструментальные средства, приложения

№ гос. регистрации АААА-А17-117032210078-4

Научный руководитель – ак. И.В. Бычков

Разработан нехорновский язык логического программирования, основанный на исчислении позитивно-образованных формул (ПОФ). Командный интерпретатор разработан как система управления конструктивным логическим выводом (ЛВ) в исчислении ПОФ. Общая схема работы интерпретатора представлена на рис. 29.

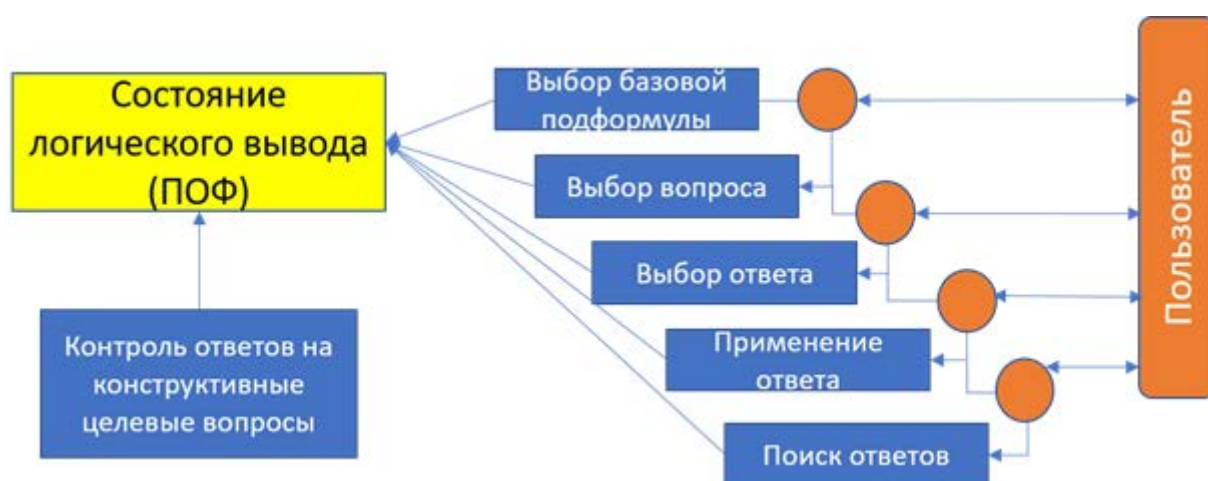


Рис. 29. Общая схема работы интерпретатора

Каждый шаг логического вывода разбит на несколько составляющих этапов: выбор базовой подформулы; выбор вопроса к данной базовой подформуле; выбор ответа на этот вопрос; применение данного ответа; поиск ответов на все вопросы ПОФ с учетом новой добавленной информации. Каждый из этих этапов можно регулировать командным интерпретатором. Для этого перед выполнением каждого этапа система выводит возможные варианты, и пользователь может выбрать конкретный вариант либо дать возможность выбора машине вывода.

Подсистема конструктивного логического вывода основана на принципе моделирования теории (логической формализации решаемой задачи), используя прямой ЛВ,



а не обратный, как в системе логического программирования Пролог. Для конструктивного вывода в формулах с дизъюнктивным ветвлением используются два типа целевых вопросов: конструктивные и неконструктивные. Ответ на конструктивный целевой вопрос означает отбраковку текущей ветви базовой подформулы, как одного из прогнозируемых вариантов развития моделируемой теории. Ответ на неконструктивный целевой вопрос означает, что одно из решений найдено, и оно находится в текущей ветви. Для конструктивного доказательства необходимо, чтобы все ветви были опровергнуты конструктивными целевыми вопросами и только одна – неконструктивными.

Примеры логических теорий, применяющихся для тестирования известных систем индуктивного логического программирования, были адаптированы под исчисление ПОФ. Данные примеры послужили основой для создания прототипа базы знаний, содержащей формулы нехорновского типа, получаемые путем добавления фиктивных ветвлений, которая была использована для тестирования разработанной системы (авторы: А.В. Давыдов, А.А. Ларионов).

Методы и алгоритмы качественного исследования многокомпонентных дискретно-событийных систем. Исследованы многокомпонентные дискретно-событийные системы (ДСС) как высокоуровневые модели сложных технических систем. В рамках теории супервизорного управления ДСС подобные системы допускают применение децентрализованного управления, реализуемого набором локальных супервизоров, каждый из которых наблюдает часть поведения системы и управляет подмножеством всех управляемых событий системы. Для автоматного представления систем и ограничений на их поведение для ряда широко применяемых способов построения абстракций конечных автоматов оригинальным методом логико-алгебраических уравнений получены условия сохранения свойств управляемости и ко-наблюдаемости языка спецификации как условий существования децентрализованного супервизора. Полученные результаты позволяют снизить вычислительную сложность алгоритмов теории супервизорного управления ДСС, поскольку управляемость и ко-наблюдаемость требуют проверки каждый раз при корректировке спецификации, а эффективность известных полиномиальных алгоритмов проверки ко-наблюдаемости существенным образом зависит от размерности автоматов, описывающих функционирование системы (автор: к.ф.-м.н. Н.В. Нагул).

Информационно-коммуникационная технология обеспечения взаимодействия автономных распределенных компонент гетерогенной робототехнической группировки при выполнении динамических миссий. Предложен общий подход к организации управления разнородной группой автономных роботов при выполнении длительных динамических миссий в условиях ограниченной коммуникации. Предложенный подход основывается на принципе групповых рандеву, когда планирование миссий осуществляется в два последовательных этапа: сначала на основании ограничений верхнего уровня строится (во времени и пространстве) последовательность запланированных групповых сборов, движение роботов между которыми регулируется уже планировщиками более низкого уровня с учетом решающихся роботами конкретных задач. Составление такого расписания групповых сборов осуществляется на основании запланированных действий роботов и прогнозируемых событий с учетом текущего состояния группы. Такой подход позволяет обеспечить движение группы сразу несколькими важными свойствами, такими как коммуникационная устойчивость, децентрализованность механизмов планирования,



возможность учета ограничений различной природы.

Важным аспектом эффективной работы группы в рамках предложенного двухуровневого подхода являются коммуникационные сессии, которые проводятся на каждом групповом сборе и являются связующим звеном между двумя уровнями управления, а также обеспечивают возможность оперативной корректировки групповой стратегии при возникновении такой необходимости. Предложена технология (схема и протоколы) передачи данных по коммуникационной сети роботов, которая путем последовательного обмена обновляемой базы знаний позволяет осуществлять эффективную (максимальная скорость и минимальные потери за счет передачи на преимущественно короткие расстояния) актуализацию всей информации внутри действующей группы в условиях ограниченной коммуникации и без необходимости установки связи между каждой парой роботов напрямую. Разработано сервисное приложение для обмена данными между агентами в моделирующем комплексе, протестированы различные форматы сообщений (авторы: М.Ю. Кензин, ак. И.В. Бычков, Д.А. Костылев).

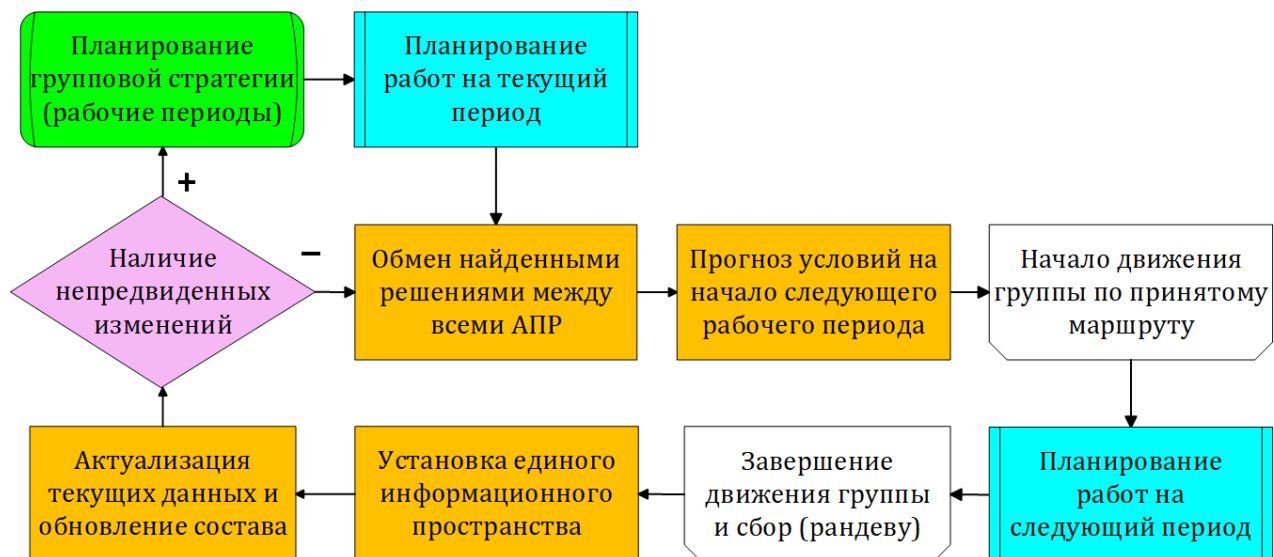


Рис. 30. Блок-схема режимов автономного функционирования группы при выполнении миссии на основе разработанного подхода (зеленый блок – планировщик верхнего уровня, голубые блоки – планировщик нижнего уровня, оранжевые блоки – коммуникационная активность)

Управления формациями АПР с изменяемым лидером в условиях неизвестной среды. Разработан подход к управлению формациями автономных подводных роботов (АПР) в условиях неизвестной внешней среды. В рамках данного подхода разработаны алгоритм формирования ситуационной модели внешней среды с использованием данных, получаемых от локатора секторного обзора, механизмы определения лидера формации посредством анализа построенной модели и численного решения некоторой квадратичной задачи оптимизации, а также цифровые алгоритмы управления АПР для различных режимов функционирования группы в условиях изменяющегося лидера. В отличие от известных решений разработанный подход не требует непрерывной коррекции траектории движения каждого АПР и не предъявляет особых требований к форме препятствий, в нем для вычисления управляющих команд АПР используют информацию лишь об ограниченной части окружающего пространства. Разработанные цифровые алгоритмы управления



формациями, в отличие от большинства известных в литературе, учитывают возможности АПР обеспечивать требуемую динамику группы и ограничения на ресурсы управления. Кроме того, стоит отметить, что они не требуют непрерывного измерения параметров движения АПР и значительных вычислительных ресурсов, что упрощает их реализацию на борту.

С использованием программно-аппаратного комплекса, разрабатываемого в ИДСТУ СО РАН на базе роботов Lego EV3, отработана групповая миссия, предполагающая сбор группы в указанной области пространства и дальнейшее ее движение с сохранением заданного строя. Каждый робот выполняет следующую последовательность элементарных действий: 1) определение его роли в заданной формации с вычислением начального положения в окрестности точки сбора группы; 2) перемещение в область сбора группы; 3) в зависимости от назначенной роли выполнение одного из двух действий: отработка команд от оператора (для робота-лидера); движение за установленным на лидере инфракрасным маяком с сохранением желаемого положения относительно него (для робота-ведомого). Результаты экспериментов по отработке описанной миссии представлены на рис. 31 (авторы: к.т.н. С.А. Ульянов, к.т.н. Н.Н. Максимкин, А.А. Толстихин, Д.А. Костылев).

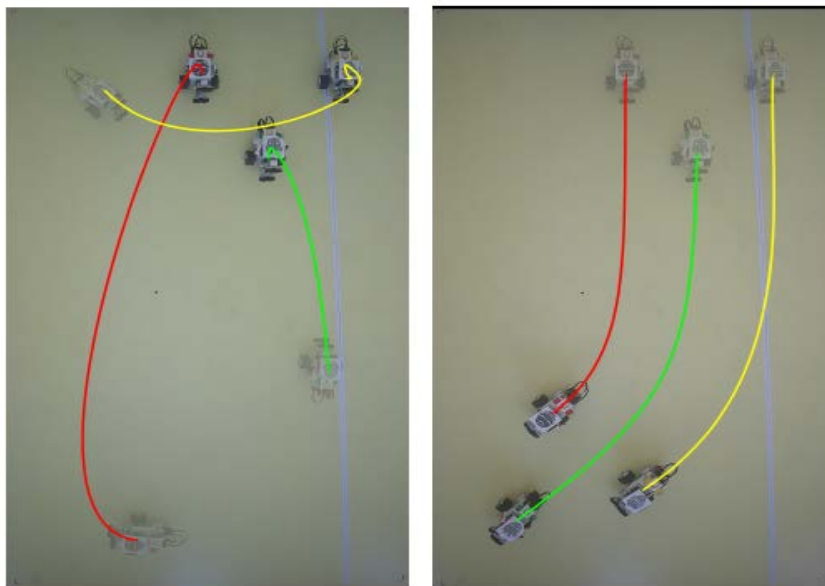


Рис. 31. Результаты экспериментов по отработке групповой миссии.
Слева – траектории движения роботов при сборе группы;
справа – при следовании вдоль траектории, определяемой командами оператора

Развитие теории управления сложными мультиагентными системами. Изучается система нелинейных дифференциальных уравнений параболического типа, рассматриваемая в качестве распределенной математической модели процесса обследования трехмерного пространства взаимодействующими роботами двух типов. Построены параметрические семейства точных решений, которые могут использоваться для формирования управления процессом обследования за счет создания нужных плотностей на границе области, являющейся базой для роботов (автор: к.ф.-м.н. А.А. Косов).

Разработаны новые методы обеспечения надежности выполнения масштабируемых приложений в гетерогенных вычислительных сетях.



Разработана новая технология создания сервис-ориентированной мультиагентной системы управления высокопроизводительными проблемно-ориентированными вычислениями с распределением ресурсов на уровне приложения пользователя в гетерогенной вычислительной сети.

Тема IV.38.1.2. Методы и технологии создания распределенной сервисно-ориентированной среды сбора, хранения, обработки больших объемов разноформатных междисциплинарных научных данных и знаний, основанных на конструктивных средствах спецификации, порождающем программировании и интеллектуализации

№ гос. регистрации: АААА-А17-117032210079-1

Научный руководитель – д.т.н. Г.М. Ружников

Сервисы и инструментальные средства поддержки декомпиляции и анализа программного кода, анализа и сопоставления данных, автоматизации создания кроссплатформенных проблемно-ориентированных систем. Реализованы новые способы представления и редактирования данных в настраиваемых при помощи спецификаций приложений БД ARMax. Реализованы новые виды правил генерации объектов карты по содержащимся в БД координатам: поддержано создание точечных, линейных и площадных объектов с фиксированным количеством точек по координатам, содержащимся в полях основной записи. Поддержана также работа с географическими координатами объектов (широта, долгота в градусах). Для реализации версии системы ГеоАРМ для различных платформ поддержана работа с кроссплатформенной библиотекой компонентов доступа к данным FireDAC (*авторы: к.т.н. А.Е. Хмельнов, к.т.н. А.С. Гаченко, к.т.н. Е.С. Фереферов*).

Прототип декомпилятора программного кода файлов DCU. Разработан прототип декомпилятора объектного кода DCU, который позволяет в автоматическом режиме получать семантически эквивалентный и близкий синтаксически исходный код на языке Delphi. Для восстановления высокоуровневых операторов языков программирования предложен метод, основанный на анализе дерева доминионов. Основная особенность данного метода заключается в том, что он позволяет выделять в уграфе области определенного вида: с одним узлом вхождения потока управления и одним узлом передачи управления. Это дает возможность сформировать библиотеку шаблонов графов, соответствующих высокоуровневым операторам Delphi, которые они порождают в процессе компиляции (*автор: к.т.н. А.А. Михайлов*).

Методика преобразования онтологических описаний в структуры UML с последующей их интерпретацией в виде программного кода. На основе технологий LOD, UML, Protege, MDA, LogTalk создана методика идентификации моделей информационных систем (ИС), где в качестве исходных данных (вычислительно-независимой модели, CIM-модели) выступает описание предметной области в виде набора диаграмм SysML, представляющих информационные объекты предметной области. Источниками могут также выступать результаты анализа документов, откуда приобретает информация об объектах предметной области, например, реквизитах организации из документов, где эти реквизиты были использованы, результаты семантического анализа таблиц в PDF-документах и таблиц



Excel.

В результате проведенных исследований построена новая методика логического анализа вычислительно-независимых моделей и преобразования их в платформо-независимые модели, представляемые в виде диаграмм классов UML. Методика успешно протестирована в задаче визуализации, анализа структуры и трансформации системы объектов конфигурации 1С (*автор: к.т.н. Е.А. Черкашин*).

Методы автоматизированного формирования сценариев использования сервисов.

Часто решение задачи может требовать многократного вызова сервисов, при этом пользователю приходится придерживаться определенной последовательности вызова сервисов, вводить одни и те же значения параметров для каждого сервиса и т.д. Для автоматизации работы пользователя требуется создание композиции Web-сервисов или частный случай вычислительной цепочки сервисов. Создание композиции сервисов – достаточно сложный процесс, требующий навыков программирования от пользователя.

В результате проведения исследований в рамках блока разработаны методы автоматизации построения вычислительных цепочек, которые впервые позволяют автоматизировать и формировать композиции сервисов и данных на основе анализа метаданных и статистических данных. Построение вычислительных цепочек на основе статистических данных о применении сервисов пользователями позволяет автоматизировать часто повторяющиеся действия пользователя (*авторы: к.т.н. Р.К. Федоров, к.т.н. А.К. Попова, к.т.н. Ю.В. Авраменко*).

Методологическое и инструментальное обеспечение поддержки процессов трансформации неструктурированных данных из произвольных таблиц. Разработано методологическое и инструментальное обеспечение трансформации иерархических (древовидных) структур табличных заголовков, характерных для статистических отчетов Росстата. Сформулированы подходы к решению следующих задач трансформации структур табличных заголовков: 1) очистки структуры и содержания заголовков; 2) аннотирование заголовков и восстановление измерений; 3) формирование целевого представления в структурированной форме. Ожидается, что в дальнейшем полученные результаты могут быть использованы в составе инструментального программного обеспечения автоматизации ввода информации из неструктурированных табличных документов в целевые базы данных.

Очистка структуры обеспечивает дедупликацию заголовков в исходной иерархии для того, чтобы в целевом структурном описании таблицы исключить повторы. Очистка естественно-языкового содержания заголовков позволяет приводить заголовки исходной иерархии, разделяющие общее семантическое значение, но различающиеся по написанию, к эталонной форме.

Для повышения качества табличных данных и обеспечения возможности установления взаимно-однозначных соответствий между пользовательскими данными и данными из классификаторов предложена методика поиска и исправления опечаток и ошибок в пользовательских данных проводится на основе комплексного подхода, включающего нечеткое и фонетическое сравнения строк. Для повышения качества очистки был использован комплексный подход, совмещающий нечеткое сравнение строк и фонетическое кодирование (*авторы: к.т.н. А.О. Шигаров, к.т.н. В.В. Парамонов, к.т.н. А.А. Михайлов*,



В.В. Христюк).

Новое инструментальное программное обеспечение поддержки процессов трансформации неструктурированных данных из произвольных таблиц. Спроектирована и реализована программная инструментальная библиотека поддержки разработки программного обеспечения трансформации данных из произвольных таблиц с иерархиями заголовков к плоским файловым базам данных с реляционной структурой, включая очистку и отслеживание изменений трансформации иерархий заголовков. Изучен и формализован процесс разработки программного обеспечения трансформации табличных данных со специфицируемой компоновкой, форматированием и содержанием, базирующийся на исполнении наборов правил анализа и интерпретации произвольных таблиц, выраженных на языке правил «Jess». Рассмотрены и реализованы основные операции анализа (ролевого и структурного) и интерпретации произвольных таблиц: очистки структуры и содержания иерархий заголовков, аннотирование заголовков и восстановления измерений, формирования целевого представления.

Реализованное средство обеспечивает исполнение таких правил в среде «Jess Rules». Получаемые в результате такой трансформации плоские файловые базы данных могут подвергаться дальнейшей материализованной интеграции данных для приведения к целевой схеме данных. В отличие от известных аналогов, специфицирующих отображения между исходной и целевой схемой, предлагаемое нами решение позволяет выражать продукционные правила анализа и интерпретации произвольных таблиц на языке «Jess». Экспериментально показано, что разработанная библиотека позволяет разрабатывать программное обеспечение для трансформации произвольных таблиц, ориентированных на целевые компоновочные формы иерархий заголовков. Разработан веб-ориентированный пользовательский интерфейс, обеспечивающий загрузку исходных электронных таблиц, вывод результатов трансформации их данных и журналирование этого процесса (*авторы: к.т.н. А.О. Шигаров, к.т.н. В.В. Парамонов, к.т.н. А.А. Михайлов, В.В. Христюк*).

Алгоритм согласования знаний экспертов при решении мультидисциплинарных задач. Предложен метод согласования мнений (знаний) экспертов при решении мультидисциплинарных задач на основе онтологической модели проблемной области, а также методов группового выбора. Новизной метода является обеспечение возможности формирования модели мультидисциплинарной задачи и ее решения, согласованные экспертами различных предметных областей. Модель задачи описывает понятия, закономерности предметной области и методы ее решения. Алгоритм является составной частью информационной технологии решения меж- и дисциплинарных задач обеспечения техногенной безопасности на основе самоорганизации (*авторы: д.т.н. А.Ф. Берман, д.т.н. О.А. Николайчук, к.т.н. А.Ю. Юрин, Г.С. Малтугева*).

Исследовательский прототип инструментального средства создания агентных имитационных моделей. Разработан исследовательский прототип, обеспечивающий создание агентных имитационных моделей с использованием декларативных спецификаций. Прототип был создан на основе авторской программной платформы для разработки систем, основанных на знаниях. В процессе создания инструментального средства базовая архитектура платформы была расширена служебным компонентом визуального



программирования $K^{Опер}$ и прикладными компонентами для визуального управления процессом создания спецификации АИМ $K^{Агент}$, проведения вычислительных экспериментов $K^{Экс}$, а также интерпретации спецификации АИМ $K^{АИМ}$.

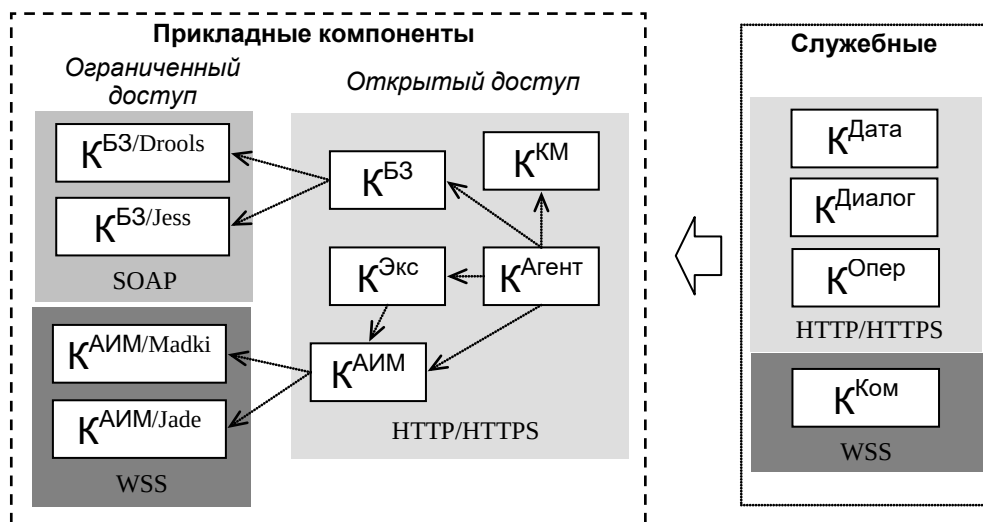


Рис. 32. Архитектура инструментального средства

Инструментальное средство реализует предложенные авторами методы описания как методологии проектирования агентных имитационных моделей (АИМ), так и проектирования конкретных АИМ. Результатом работы методов является комплексная спецификация АИМ, содержащая декларативное описание состава и архитектуры элементов АИМ, включая набор действий, выполняемых на шаге моделирования агентом и средой; концептуальную модель предметной области и базу знаний агентов (автор: к.т.н. А.И. Павлов).

Проект № IV.38.1.3. Разработка методов непрерывной и дискретной оптимизации и их реализация на высокопроизводительных вычислительных системах для поддержки междисциплинарных научных исследований

№ гос. регистрации: АААА-А17-117032210077-7

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

Развит теоретический аппарат условий глобальной оптимальности (УГО) для общей задачи математической оптимизации (d.c. оптимизации), который является фундаментом для построения методов в сложных невыпуклых задачах. УГО обладают классическим алгоритмическим (конструктивным) свойством, позволяющим находить допустимый вектор, который оказывается лучше по значению целевой функции невыпуклой задачи, чем исследуемый вектор (автор: д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский).

Разработаны методы локального и глобального поисков в двухуровневой задаче с матричной игрой на нижнем уровне, основанные на решении задач d.c. оптимизации общего вида (авторы: к.ф.-м.н. А.В. Орлов, к.ф.-м.н. Т.В. Груздева).

Для решения задач составления расписаний учебных курсов в высших учебных заведениях, отличающихся большой размерностью и сложностью, а также уникальностью для каждого учебного заведения, разработан эффективный эвристический метод (эвристика



локальных ветвлений), основанный на частичном фиксировании части переменных задачи и решении получившейся подзадачи меньшей размерности с помощью некоторого точного метода (например, решателем задач ЦП) (авторы: к.ф.-м.н. И.Л. Васильев, к.ф.-м.н. А.В. Ушаков).

Предложены новые алгоритмы решения задачи поиска малых активирующих множеств в отношении детерминированной линейной пороговой модели (DLTM), в которых использование быстрых приближенных алгоритмов решения максимизации влияния (Influence Maximization Problem, IMP) комбинируется с применением точных методов и в первую очередь алгоритмов решения проблемы булевой выполнимости. Более детально, была исследована взаимосвязь между скоростью активации сети и т.н. «феноменом центральности» (betweenness centrality) некоторых вершин: логично предположить, что активация будет проходить тем быстрее, чем большее число активаторов попадет в вершины с относительно высокой центральностью. Довольно неожиданное следствие проведенных вычислительных экспериментов состоит в том, что центральность не всегда определяющим образом влияет на скорость активации, для целого ряда случаев быстрой активации подавляющей части сети удастся добиться вообще без использования вершин с максимальной центральностью. Вычислительные эксперименты проводились как на сетях, сгенерированных в соответствии с известными моделями случайных графов, так и на сетях реального мира (использовались фрагменты сети Twitter) (автор: С.Е. Кочемазов).

Были разработаны новые алгоритмы псевдобулевой оптимизации, предназначенные для построения декомпозиционных представлений трудных экземпляров задачи о булевой выполнимости (SAT). Были проведены масштабные вычислительные эксперименты на КНФ, кодирующих задачи криптоанализа ряда генераторов ключевого потока, занявших высокие места на конкурсе поточных шифров eSTREAM. Построенные алгоритмы показали высокую эффективность в сравнении с известными алгоритмами и пакетами псевдобулевой оптимизации (автор: к.т.н. О.С. Заикин).

Получены новые результаты в области применения вычислительных алгоритмов решения проблем SAT и MAXSAT к комбинаторным задачам, связанным с верификацией нейронных сетей и обращением некоторых криптографических функций. Конкретно, были предложены методы синтеза и проверки гипотез о некоторых системах с малоизученным поведением (таких как нейронные сети) с использованием алгоритмов решения проблем SAT и MAXSAT. Был развит подход к решению MAXSAT, использующий т.н. «двухрельсовую» (Dual Rails) схему кодирования, а также предложены новые алгоритмы решения задачи построения объединения минимальных невыполнимых множеств (MUS) (автор: к.т.н. А.С. Игнатьев).

Был изучен феномен повторного порождения конфликтных дизъюнктов в CDCL-выводе и его влияние на скорость решения задач обращения некоторых криптографических функций. На основании полученных результатов в дальнейшем была разработана новая эвристика, использование которой позволяет существенно повысить эффективность SAT-решателей, основанных на концепции CDCL (авторы: В.С. Кондратьев, к.т.н. О.С. Заикин, С.Е. Кочемазов, к.т.н. А.А. Семенов).

Был предложен алгоритм машинного обучения, предназначенный для определения полезности конфликтных дизъюнктов, генерируемых в CDCL-выводе. Алгоритм использует бинарный классификатор, который основан на методе опорных векторов. Алгоритм был



реализован на базе CDCL-решателя Glucose. Полученный модифицированный решатель позволил быстрее (чем исходный решатель) решить трудные SAT-задачи из нескольких семейств, использованных в соревновании SAT Competition 2018 (*автор: к.т.н. О.С. Заикин*).

Разработаны вычислительные методы решения задач оптимального управления для многоэтапных процессов с нефиксированным временем этапа. Рассматривается управляемый процесс, состоящий из нескольких этапов, причем момент окончания предыдущего этапа является моментом начала следующего этапа. Каждый из этапов описывается своей системой дифференциальных уравнений. Предложен метод сильного улучшения второго порядка для задач оптимального управления с нефиксированными отрезками времени этапа. Техника вывода алгоритмов основана на теории В.Ф. Кротова. Специально исследован случай, когда исходное приближение удовлетворяет необходимым условиям оптимальности, но не доставляет функционалу сильный локальный минимум. Получены условия неухудшаемости управления (*автор: д.ф.-м.н. В.А. Батулин*).

Разработаны концептуальные нелинейные социо-эколого-экономические модели, осуществлена постановка задач управления, проведено их качественное исследование. Математическая модель учитывает взаимосвязь таких факторов, как выпуск конечного непродовольственного потребления продуктов, скорость капиталовложений на развитие основных и восстановительных фондов, интенсивность восстановления ресурсов, объемы основных и восстановительных фондов, социально-экологические показатели, численность населения, антропогенная непродовольственная нагрузка на ресурсы и др. Разработаны варианты зависимости параметров моделей (например, матриц удельных прямых затрат) от значений социально-экологических показателей. Для экологического блока учитывается тот факт, что при сильных нарушениях природной среды последняя может потерять способность к самовосстановлению. Задача оптимального управления состоит в максимизации функционала, который отражает полезность, а структурно состоит из двух составляющих: первое описывает мгновенную прибыль, второе характеризует величину штрафа за нарушения экологического равновесия. Для качественного исследования задачи применялась теория В.Ф. Кротова и, в частности, метод кратных максимумов В.И. Гурмана (*авторы: д.ф.-м.н. В.А. Батулин, к.т.н. А.Б. Столбов*).

Рассмотрена задача размещения на плоскости при следующих условиях: заданы производственные мощности для каждого предприятия, и цена обслуживания каждого клиента пропорциональна квадрату расстояния от него до предприятия. Показано, что такая задача не описывается как задача варьирования множества достижимости, но сводится к задаче проектирования в пространстве вероятностных мер. Для данной задачи разработан алгоритм локального спуска, алгоритм реализован на языке Julia и протестирован на ряде примеров (*автор: Н.С. Малтугова*).

Разработана математическая модель работы микрологистической транспортной системы в форме многофазной системы массового обслуживания. При этом учитывается структура входящего транспортного потока, неравномерность поступления заявок, возможность группового обслуживания и приостановки обслуживания на второй и третьей фазах. На основе общей модели построены и программно реализованы имитационные модели железнодорожных сортировочных станций Иркутск-Сортировочный, Ниш (Сербия) и Кумагая (Япония). Проведен обширный вычислительный эксперимент (*автор: к.т.н. М.Л. Жарков*).



Для задач о размещении обслуживающих логистических центров различной мощности и при наличии пространственных ограничений предложены две математические модели в форме задач о построении оптимального покрытия и оптимальной упаковки кругов разных радиусов. При этом применяется специальная неевклидова метрика, которая базируется на решении уравнения эйконала в случае неоднородной среды. Разработаны и программно реализованы новые вычислительные алгоритмы, основанные на физических принципах Ферма и Гюйгенса, проведен вычислительный эксперимент, включающий решение тестовых и модельных задач (*автор: к.ф.-м.н. А.А. Лемперт*).

Проведен анализ материалов по вертикальному распределению растворенного метана в водной толще Байкала, который показал, что одной из причин изменений концентрации метана может быть повышение уровня озера Байкал, обусловленное строительством Иркутской ГЭС. Разработана математическая модель процесса тепло- и массопереноса, позволяющая оценить перемещения нижней границы устойчивости газовых гидратов (BSR), связанного с колебаниями уровня озера. Модель позволила оценить размах перемещения BSR, связанного с колебаниями уровня озера Байкал и вариациями геотермического потока тепла. Получены оценки времени протекания переходного процесса при изменении уровня озера. Вычислительные эксперименты на разных глубинах показали, что при насыщенности гидратами пор донных отложений (SatH) менее 5% положение границы BSR в озере Байкал реагирует как на внутригодовые колебания уровня, так и на длительные изменения уровня, вызванные строительством Иркутской ГЭС (*автор: В.В. Козлов*).

В рамках развиваемой платформы создания систем, основанных на знаниях, разработана архитектура программного компонента для поддержки сценарного моделирования. Проведен анализ современного состояния в области сценарного подхода (сценарное моделирование, сценарный анализ, сценарное планирование и т.п.). Для тестирования компонента выбрана категория сценария «моделирование», предполагающая следующие типы изменений: 1) вариации значений экзогенных переменных; 2) вариации параметров, определяющих влияние переменных друг на друга; 3) вариации переменных в самой модели, включая как значения, так и фактическую структуру модели. Проведен анализ применимости компонента для задачи многовариантного сценарного анализа социо-эколого-экономических проблем регионального уровня на основе моделей типа «Регион» (*автор: к.т.н. А.Б. Столбов*).

Проект № IV.38.1.4. Информационно-телекоммуникационная платформа цифрового мониторинга озера Байкал на основе сквозных технологий

№ гос. регистрации: AAAA-A19-119111990037-0

Научный руководитель – д.т.н. И.В. Бычков

Структура информационно аналитической платформы цифрового мониторинга.

Для организации комплексного цифрового мониторинга экологических систем озера Байкал сервисы тематического экологического мониторинга предлагается интегрировать с помощью логических конструкций, обеспечивающих решение задач обработки пространственно-временных данных, управления потоком выполнения и т.д. Разнообразие коллекций разрабатываемых сервисов тематического экологического мониторинга позволит передавать данные между ними, согласовывать форматы данных, запускать асинхронные вычислительные процессы.



ИАП должна с заданной степенью надежности сохранять любые виды исходных данных экологического мониторинга: временные ряды с результатами измерений различных датчиков, материалы экспедиций, космические снимки, векторные карты и т.д. (рис. 33). Все эти данные, характеризующиеся пространственной и временной привязкой, могут иметь ряд дополнительных атрибутов, специфичных для конкретного вида информации (авторы: д.т.н. Ружников, к.т.н. А.К. Попова, к.т.н. Р.К. Фёдоров).

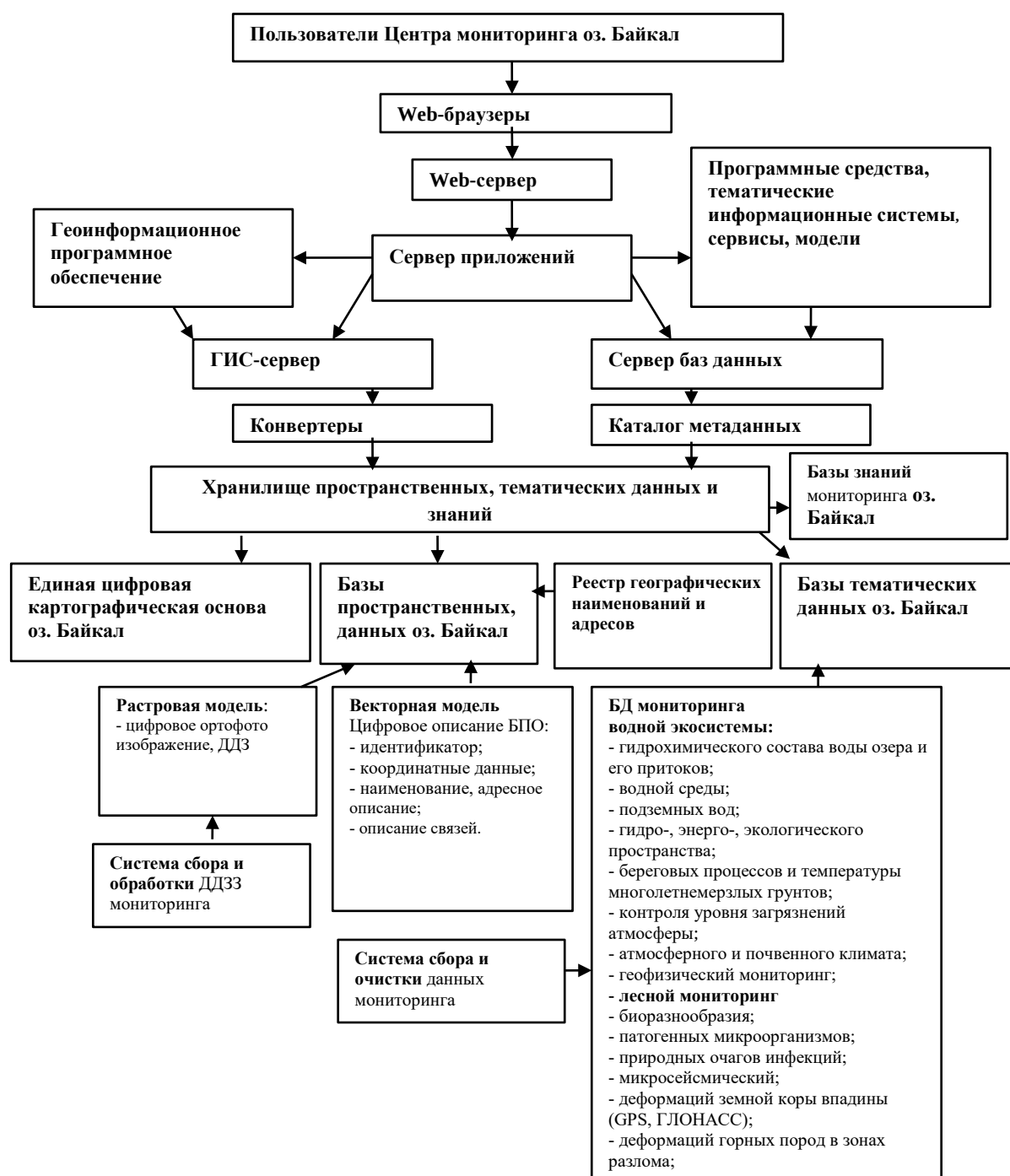


Рис. 33. Структура ИАП



Концепция доступа к высокопроизводительным вычислительным ресурсам и ресурсам хранения данных Центров коллективного пользования для решения задач цифрового мониторинга оз. Байкал. В качестве программно-аппаратной платформы, обеспечивающей непрерывную работу, предлагается использовать зарекомендовавшую схему построения центров обработки данных (рис. 34), в основе которой лежат основополагающие принципы:

1. Полное резервирование инженерной инфраструктуры и аппаратного комплекса.
2. Эффективное использование оборудования за счет организации пулов вычислительных ресурсов.
3. Виртуализация ресурсов и приложений.
4. Системы резервного копирования и восстановления.

Создание Центра обработки данных на начальном этапе включает:

- реконструкцию инженерной инфраструктуры – систем бесперебойного питания и охлаждения;
- модернизацию сетевой инфраструктуры;
- развертывание серверов и систем хранения и обработки данных на базе оборудования ведущих в отрасли вендоров.

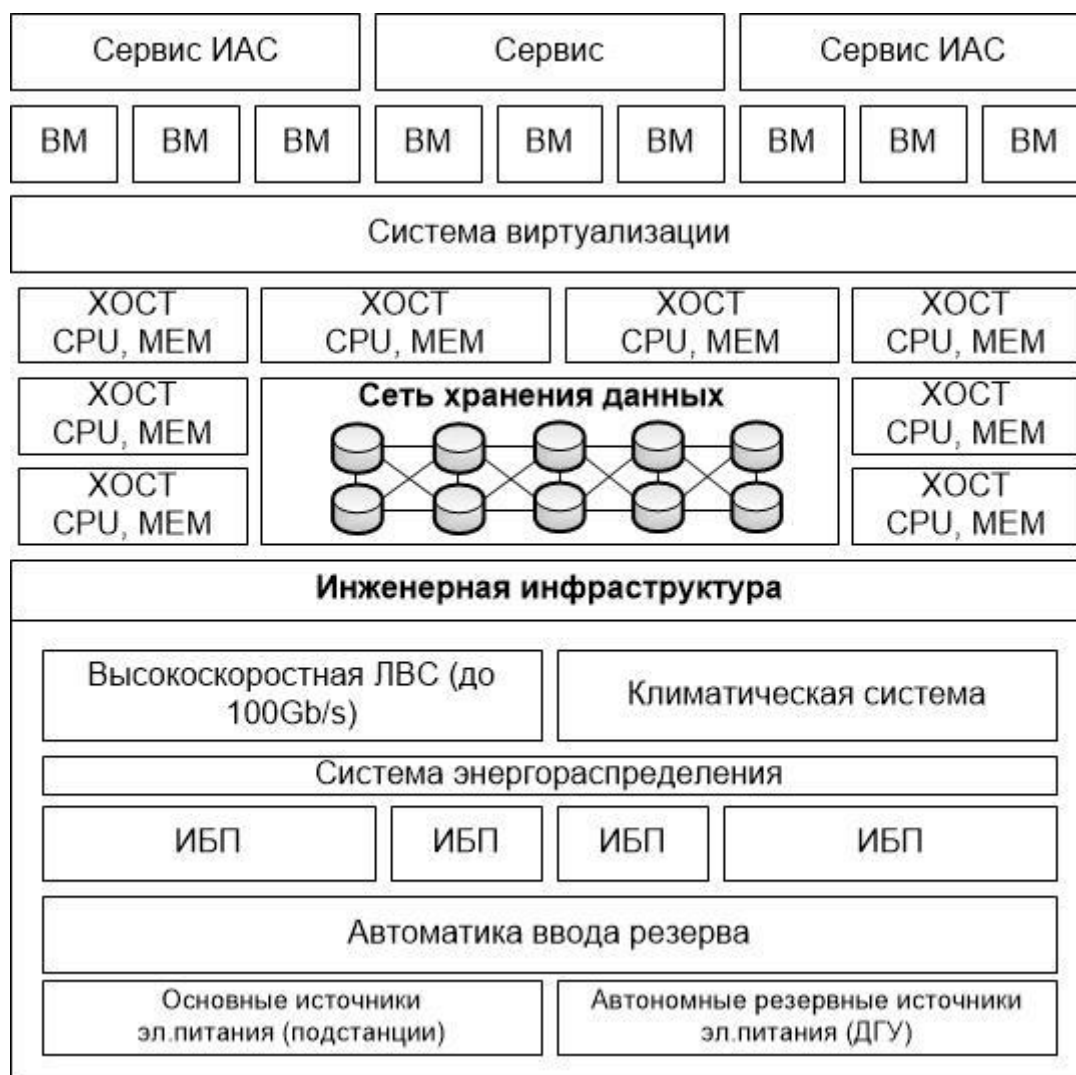


Рис. 34. Инфраструктура ЦОД

В качестве стартовой площадки для развертывания ЦОД предлагается использовать существующие и успешно функционирующие центры коллективного пользования ИИВС



ИрНОК и ИСКЦ, что обеспечит повышение доступности высокопроизводительных вычислительных ресурсов для обработки данных цифрового мониторинга, в том числе, с применением средств суперкомпьютерного моделирования (к.т.н. Т.И. Маджара, д.т.н. Г.М. Ружников).

Эффективные методы и технологии сбора, обработки и анализа больших объёмов разноформатных пространственно-временных данных, основанных на интеллектуализации, машинном обучении и использовании конструктивных средств спецификации. В рамках разрабатываемой платформы цифрового мониторинга создан каталог цифровых спутниковых снимков (рис. 35), обеспечивающий сбор и эффективное хранение разноформатных данных большого объема. Каталог наполнен данными дистанционного зондирования Земли из Космоса за период 2018-2019 год по Иркутской области и югу озера Байкала.

Сервисы получения
данных ДЗЗ

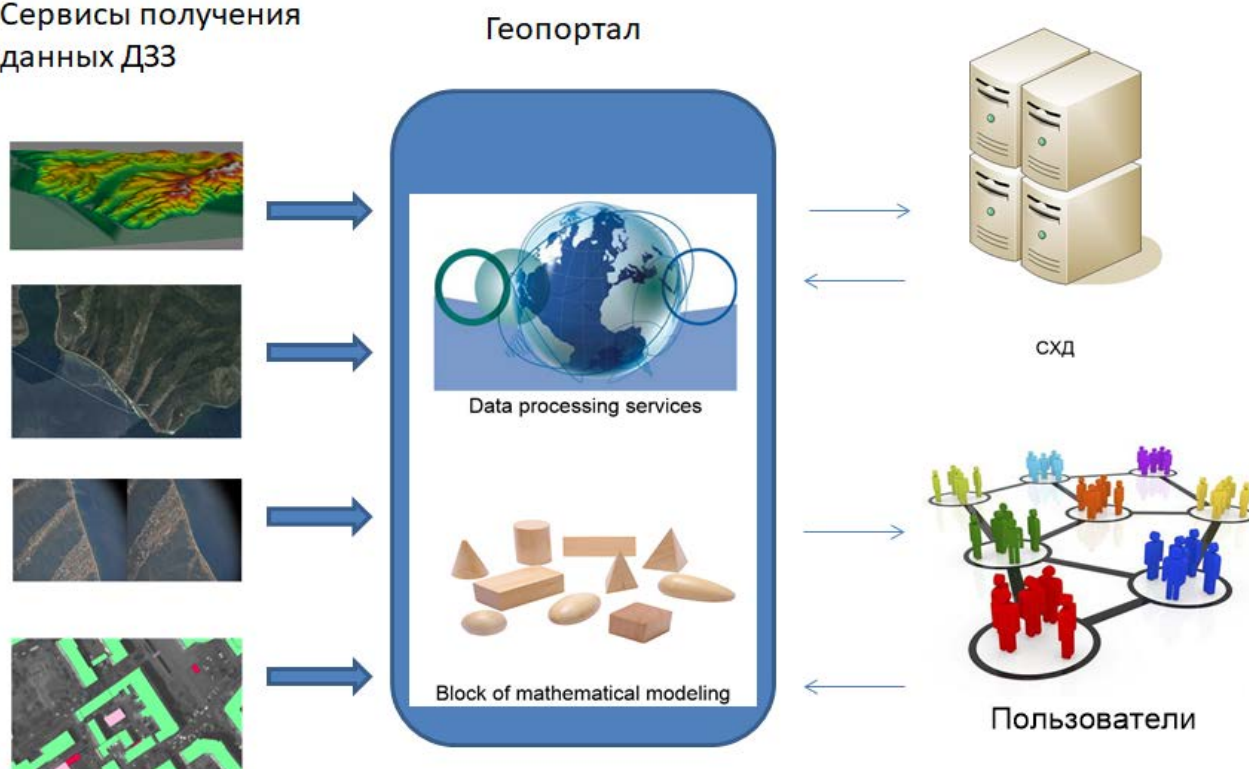


Рис. 35. Архитектура каталога данных ДЗЗ

Каталог включает в себя данные группировки российских космических аппаратов (КА). В каталоге собрано порядка 200 космических снимков на территорию Иркутской области в разном разрешении и временном интервале. Исходные данные получены с геопортала Роскосмоса на основании соглашения между Министерства науки и высшего образования РФ и государственной корпорации Роскосмос. Данные съемки получены с двух космических аппаратов «Канопус-В» и «Ресурс-П».

Существующий объем хранимых данных ДЗЗ 509 ГБ. Для оптимизации хранилища данных разработан и используется специальный формат хранения данных – MRG. Данный формат предназначен для хранения больших объемов целочисленных растровых данных. Он поддерживает быструю выборку фрагментов растра с различными уровнями детализации за счет представления вместе с наиболее детальными данными, растров более низкого разрешения. Предложенная структура данных позволяет не только не увеличить расход дисковой памяти на хранение дополнительных растров более низкого разрешения, но, и наоборот, в целом сократить ее использование. Для упаковки данных разработан оригинальный алгоритм сжатия разностных целочисленных последовательностей,



позволяющий, как увеличить коэффициент сжатия, так и сократить время, необходимое для упаковки данных (по сравнению с популярной библиотекой ZLib). Для чтения информации из файлов MRG реализована динамическая библиотека, позволяющая использовать представленные в них данные сторонних программ. Программное обеспечение для чтения форматов MRG способно эффективно работать при использовании ограниченного объема памяти (от 16 Mb) (авторы: к.т.н. А.Е. Хмельнов, к.т.н. А.С. Гаченко).

Сервисы предобработки и обработки больших объемов данных ДЗЗ. Разработана технология обработки больших данных ДЗЗ (рис. 36) в виде совокупности WPS сервисов. Разработанная технология состоит из следующих этапов:

- 1) получение снимков, на этом этапе пользователь производит выбор подходящего снимка, на котором имеется ледник;
- 2) формирование обучающей выборки, на этом этапе пользователь указывает границы ледников. Данный этап является опциональным;
- 3) создание классификатора, на текущий момент применяются пока только нейронные сети. Данный этап является опциональным;
- 4) классификация снимков, пользователь может использовать готовые классификаторы или создать свои с помощью предыдущих этапов;
- 5) включение результатов классификации в каталог, который позволяет быстро найти нужные объекты и сохранить в одном из форматов.



Рис. 36. Основные этапы технологии обработки данных ДЗЗ

Для формирования обучающей выборки в рамках геопортала создана таблица (рис. 37), в которой пользователь указывает границы объектов на различных снимках.

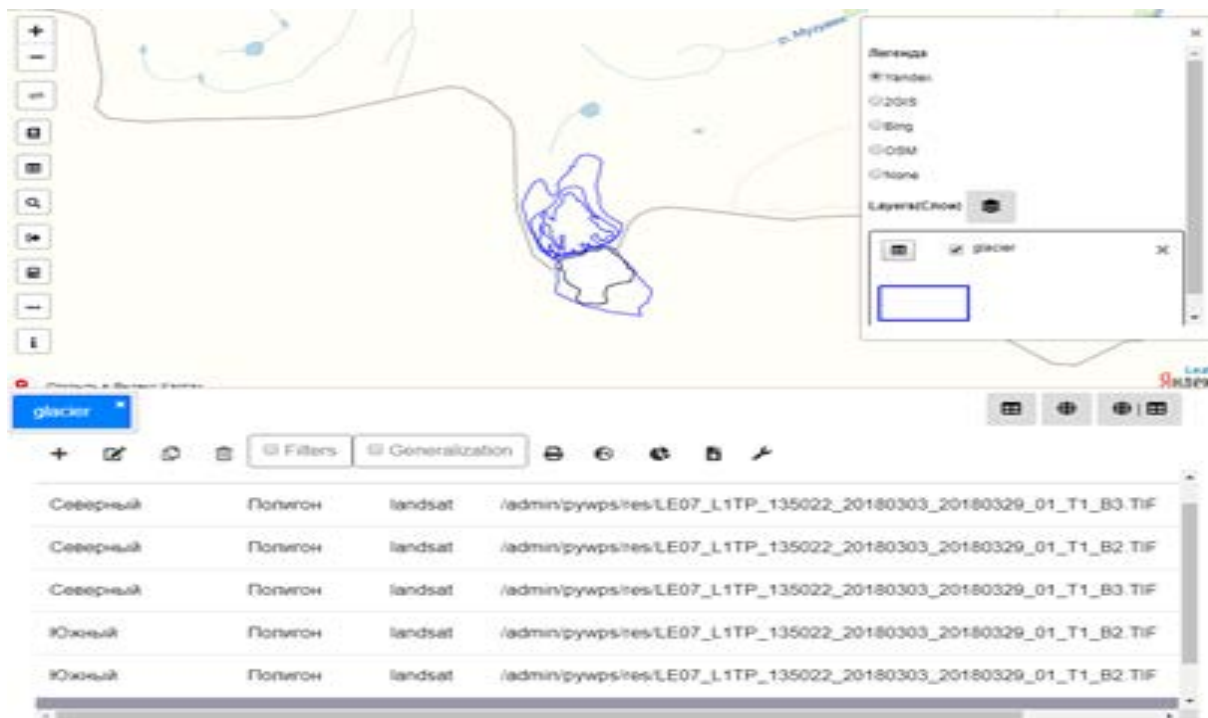


Рис. 37. Таблица обучающей выборки

Таблица состоит из следующих атрибутов:

- 1) name – название ледника;
- 2) boundaries – границы объекта в виде полигонального объекта;
- 3) date – дата снимка;
- 4) imagename – путь к файлу снимка в директории системы хранения данных геопортала;
- 5) imprecisedate – неточная дата снимка.

В каждой записи таблицы пользователь определяет границы одного объекта на конкретном снимке. Вся область снимка делится на два класса, область, покрытая полигонами из таблицы для этого снимка, считается объектом. Вся оставшаяся область изображения – противоположным классом. Соответственно в процессе составления обучающей выборки необходимо полностью покрыть объекты полигонами.

Космоснимки, полученные со спутника Landsat, представлены в виде набора файлов в формате GEOTIFF, в каждом из которых находится отдельный канал (монохромное изображение). Для отображения на карте геопортала необходимо совокупность файлов преобразовать в RGB представление. Для этого используется сервис Bands_to_RGB, который принимает на вход три монохромных изображения, соответствующих каналам модели RGB и строит из них цветное. В основе сервиса используется модуль gdal_merge_simple (https://github.com/gina-alaska/dans-gdal-scripts#gdal_merge_simple).

Для создания классификатора на основе обучающей выборки разработан набор сервисов, на вход которых подается таблица и на выходе получаем файл классификатора. В таблице можно отфильтровать записи по всем атрибутам, в том числе указать область обработки. Например, задать диапазон дат или определенное название объекта. Для каждого изображения в обучающей выборке формируется набор записей. Затем используется сервис Rasterize, который принимает на вход векторный файл в формате SHAPE, определяющий положения прецедентов, исходное изображение в формате GEOTIFF и прямоугольную область интереса. На рис. 38 представлен пример запуска сервиса Rasterize.



Рис. 38. Запуск сервиса Rasterize

Результатом работы сервиса является растровое изображение – бинарная маска (рис. 39), содержащая положения прецедентов по заданной области интереса. В основе сервиса используется инструмент `gdal_rasterize` (https://gdal.org/programs/gdal_rasterize.html). Сервис позволяет задать размер выходного изображения в пикселях.



Рис. 39. Маска ледника, полученная на основе таблицы

После сервиса Rasterize используется сервис Learning, который непосредственно производит обучение нейронной сети. На вход сервису подается растровое изображение модели RGB и бинарная маска, с указанием положений ледников. На выходе формируется файл модели. В основе сервиса используется проект Segmentation models (https://github.com/qubvel/segmentation_models). Данный проект позволяет использовать одну из предобученных нейросетей, распространенных архитектур Unet, FPN, Linknet или PSPNet. Принцип работы сервиса следующий. Из изображения и маски методом скользящего окна формируется обучающая выборка. После чего вызывается метод обучения модели. Затем



полученная модель возвращается пользователю в качестве результата. Так как процесс обучения достаточно долгий, то данный сервис вызывается в асинхронном режиме. Пользователь может следить за статусом его выполнения.

Классификация осуществляется с помощью сервиса Segmentation. На вход сервису подается растровое изображение модели RGB. На выходе получается бинарная маска с отмеченными положениями объектов. В основе сервиса используется проект Segmentation models (https://github.com/qubvel/segmentation_models). Сервис получает на вход изображение, после чего пробегается по нему скользящим окном, в результате чего изображение делится на строки и столбцы. Из каждой строки формируется набор данных и передается на вход нейронной сети. Затем результат работы записывается на соответствующие позиции копии исходного изображения и так далее, пока не будет обработано все изображение целиком (авторы: к.т.н. Р.К. Фёдоров, к.т.н. Ю.В. Авраменко, к.т.н. А.К. Попова)

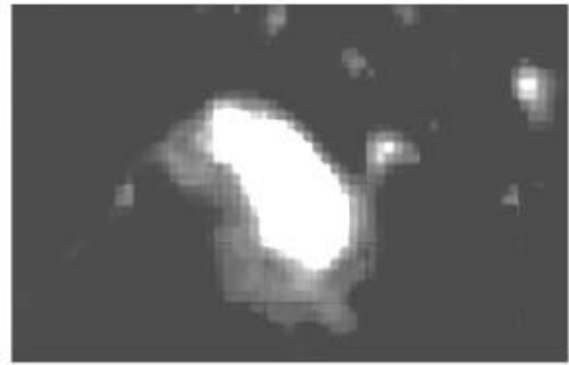
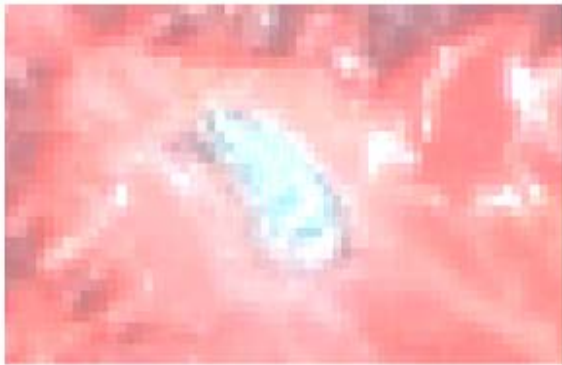


Рис. 40. Снимок Landsat и результат классификации

Сервисы обработки неструктурированных данных. Предложена концепция микросервисной архитектуры веб-ориентированной системы очистки не стандартизированной структуры и не гармонизированного содержания табличных данных, базирующаяся на современном архитектурном стиле взаимодействия компонентов распределённого приложения в сети — REST (Representational State Transfer). Предлагаемая архитектура предназначена для реализации следующих операций:

- Передача исходных табличных данных в формате CSV (Comma Separated Values), декларативных программ очистки структуры и содержания таблиц на языке правил общего назначения DRL (Drools Rule Language), спецификацию типов данных в формате YAML (YAML Ain't Markup Language).
- Конфигурирование и выполнения процессов очистки табличных данных на основе исполнения DRL-программ в системе «Drools Expert».
- Формирование выходных табличных данных и сопровождающих их метаданных в формате JSON (JavaScript Object Notation).
- Кэширование сессионных данных и предоставление программного доступа к ним.

Предлагаемая архитектура определяет следующий рабочий процесс очистки «грязных» табличных данных. Исходные данные загружаются и отображаются в Java объекты. Структуры данных, представляющие ячейки, вхождения, метки и категории, реализованы как Java-классы в соответствии с соглашениями спецификации JavaBeans. Они добавляются как факты в рабочую память системы исполнения правил. Опционально одна или несколько категорий, описанных с помощью языка YAML, могут загружаться в систему, также формируя соответствующие факты в рабочей памяти системы исполнения правил. При этом синтаксический разбор YAML описаний выполняется в свободной системе SnakeYAML. При этом каждый факт является экземпляром одного из этих классов. Правила



анализа и интерпретации таблиц выражаются на языке DRL. В качестве системы исполнения правил используется свободное программное обеспечение «Drools Expert». Факты, загруженные в рабочую память, сопоставляются скомпилированным правилам. В результате создаются новые факты, описывающие семантику таблицы: вхождения, метки, категории и отношения между ними. Из них генерируется каноническая таблица. В результате очистки табличных данных формируются JSON объекты, представляющие таблицу, ее ячейки, вхождения и метки в канонической форме (рис. 40).

```
{ "$schema": "http://json-schema.org/draft-07/schema#",
  "$id": "http://td.icc.ru/cell.schema.json",
  "title": "Cell",
  "description": "A cell from CTable",
  "type": "CCell",
  "properties": {
    "id": { "type": "Integer" },
    "cl": { "description": "a left column position", "type": "Integer" },
    "cr": { "description": "a right column position", "type": "Integer" },
    "rt": { "description": "a top row position", "type": "Integer" },
    "rb": { "description": "a bottom row position", "type": "Integer" },
    "height": { "description": "the height of cell", "type": "Integer" },
    "width": { "description": "the width of cell", "type": "Integer" },
    "text": { "description": "a text ( a processed text )", "type": "String" },
    "indent": { "description": "", "type": "Integer" },
    "typeTag": { "description": "a data type tag provided by a spreadsheet cell (e.g. NUMERIC, STRING, DATE, FORMULA)", "type": "TypeTag", "$ref": "http://td.icc.ru/type-tag.schema.json" },
    "entry": { "type": "CEntry", "$ref": "http://td.icc.ru/entry.schema.json" }
  }
```

Рис. 40. Фрагмент JSON-схемы ответа микросервиса очистки табличных данных.

Очистка данных позволяет повысить качество информации, представленной в табличных документах. Java-класс, получающий на вход объекты таблицы, представленные в виде JSON-формата. Очистка включает в себя несколько стадий. На первой стадии проводится идентификация типа данных. Наличие семантики и отношений между элементами таблицы, представленными в виде объектов, дает возможность проводить анализ по диапазону данных и меток, образующих столбцы и строки. При определении типа данных рассматривается их представление (символы, формат). Также в расчет берутся данные, представленные в соседних столбцах и (или) строках. По результатам их совокупного анализа дается заключение о принадлежности информации к определенному типу данных. Идентификация основана на применении механизма регулярных выражений. Также для анализа в расчет берется информация о типе данных ячейки в электронной таблице, если таковая присутствует и совпадает с представлением данных. В случае, если из меток или категорий есть возможность извлечь информацию о единицах измерения – она используется для нормализации единиц измерения в соответствии с целевыми единицами. Также для данных, идентифицированных как числовые, разработаны подходы поиска вычисляемых значений. Предлагается использовать комплексный подход, включающий как анализ содержания, так и структуры табличного документа. Для этого проводится анализ на наличие в метках и категориях ключевых слов (“итого”, “всего”, “среднее”, “нарастающий итог” и т.п.), обозначающих их возможное вхождение вычисляемого значения. Проводится анализ окружающих ячейку вхождений с целью выявления зависимостей. Анализ строится на возможных гипотезах относительно агрегации данных.

Для данных, которые идентифицируются как «строки» и которые могут быть соотнесены с каким-либо значением словаря (город, регион, марка и т.п.), будет проведена их реконсиляция. Принадлежность данных к словарю обуславливается пользовательской спецификацией данных перед загрузкой. Для таких данных реконсиляция обеспечивает устранение опечаток и установление взаимно-однозначных связей с классификаторами. Для устранения опечаток применяются методы нечеткого сравнения строк и фонетического кодирования.

Очищенные данные могут быть сохранены в виде электронной таблицы или переданы на последующую обработку как JSON-объекты.

Для тестирования предлагаемой архитектуры спроектировано веб-ориентированное приложение, предоставляющее пользовательский интерфейс доступа к микросервисам очистки табличных данных, обеспечивающий визуализацию и интерактивную работу с получаемыми выходными JSON данными (авторы: к.т.н. А.О. Шигаров, к.т.н. В.В. Парамонов, к.т.н. А.А. Михайлов, В.В. Христюк).

Сервисы управления жизненным циклом научных данных. Предложена концепция модели курирования больших объемов исследовательских данных, накапливаемых в результате цифрового мониторинга озера Байкал. Модель предполагает активное и непрерывное управление ими на протяжении всего их жизненного цикла, для того, чтобы обеспечить и увеличить их ценность как в настоящем, так и в будущем.

Предлагаемая модель жизненного цикла данных цифрового мониторинга охватывает процессы планирования, сбора и обработки, моделирования и анализа, хранения, каталогизации и архивирования, публикации, открытого доступа и повторного использования.



Рис. 41. Модель жизненного цикла научных данных цифрового мониторинга озера Байкал

Реализация этой модели предполагает разработку детального плана (включая стратегию и политики) управления данными в соответствии с современными стандартами и рекомендациями центров цифрового курирования. Сбор и обработка включает решение в рамках проекта вопросов автоматизации проектирования и исполнения рабочих процессов конвейерной обработки данных, упаковки получаемых исследовательских данных в современные обменные форматы (NetCDF, HDF5, CERN ROOT и др.). Для краткосрочного хранения и долгосрочного архивирования планируется создание инфраструктуры репозитория данных, каталогов метаданных и резервного копирования. Для поддержки моделирования и анализа данных предполагается внедрить современную платформу аналитики научных данных (Data Science Platform). Эта платформа обеспечит исследование



***Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2019 г.***

озера Байкал необходимыми инструментами моделирования (в т. ч. методами Монте-Карло) и интеллектуального анализа (в т.ч. методами обнаружения знаний и поиска скрытых закономерностей) с интенсивным использованием междисциплинарных данных. Для публикации наборов исследовательских данных планируется создание и наполнение портала открытых данных озера Байкал. Такой портал позволит распространять и повторно использовать результаты цифрового мониторинга, в т.ч. в других научных проектах и образовательных курсах (авторы: к.т.н. Шигаров, к.т.н. Е.С. Фереферов, к.т.н. А.Е. Хмельнов).



ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОГРАММАМ РАН И СО РАН

Программа фундаментальных исследований Президиума РАН I.27.
«Фундаментальные проблемы решения сложных практических задач с помощью суперкомпьютеров»

Координатор программы – ак. В.Б. Бетелин

Проект **«Методы и средства решения трудных переборных задач с помощью суперкомпьютеров»**

№ гос. регистрации: АААА-А18-118031590005-5

Научный руководитель проекта – ак. И.В. Бычков

1. Разработаны новые сервис-ориентированные решатели трудных переборных задач с использованием непроцедурных запросов на распределенной вычислительной модели предметной области (*авторы: д.т.н. Г.А. Опарин, к.т.н. В.Г. Богданова*).

2. Разработана новая интеллектуальная технология организации предметно-ориентированных гетерогенных сред, обеспечивающая, в отличие от известных, интеграцию Grid и облачных вычислений в процессе решения трудных переборных задач (*авторы: к.т.н. А.Г. Феоктистов, к.т.н. С.А. Горский*).

3. Разработан алгоритм проверки свойства ко-наблюдаемости языка спецификации с помощью логического вывода. При дискретно-событийном моделировании верхнего уровня иерархических систем управления группами автономных поисково-обследовательских роботов возникает необходимость использовать принцип децентрализованного управления. Многоагентность, пространственная распределенность и неполная наблюдаемость всех аспектов функционирования таких систем приводит к ДСС, где локальные супервизоры могут отвечать, например, роботу-лидеру или роботу-ведомому в связке лидер-ведомый при движении роботов в формации, и в то же время смена режимов функционирования (базовых поведений) описывается для всей системы в целом. Такая постановка задачи приводит к необходимости построения децентрализованного супервизора, а, следовательно, проверке условий его существования. Как известно, одним из них является ко-наблюдаемость формального языка, описывающего ограничения на поведение ДСС. Известный алгоритм проверки ко-наблюдаемости хотя и имеет полиномиальную сложность, на каждой итерации требует построения множества возможных прообразов наблюдаемого слова для каждого задействованного локального супервизора. Вычислительные затраты при этом велики, а сам алгоритм узкоспециализирован. Предложен подход к проверке ко-наблюдаемости с помощью развиваемого в рамках проекта оригинального метода автоматического доказательства теорем, реализованного в подсистеме логического вывода. Суть подхода основана на первопорядковой логической (в языке позитивно-образованных формул) формализации генераторов формальных языков, описывающих изначальное и задающих желаемое поведение ДСС. Затем на основе данных формализаций при помощи специальной разработанной стратегии совместного логического вывода для сопоставления вариантов развития событий в разных языках осуществляется поиск вывода построенных формул, результатом которого является ответ на вопрос о ко-наблюдаемости.

Предложенный подход позволит не только организовать проверку свойства ко-наблюдаемости, но и вычислять в случае его нарушения подязыки, для которых свойство



выполнено, а также строить локальные супервизоры, обеспечивающие их генерацию. Как известно, свойство ко-наблюдаемости не сохраняется относительно операции объединения языков, поэтому в общем случае не существует наибольший ко-наблюдаемый подязык данного языка. Применение в ходе вывода эвристик, основанных на формализованных знаниях об окружающей обстановке и условиях функционирования системы, поможет выбрать наилучший в некотором смысле целевой язык из всех ко-наблюдаемых подязыков. Кроме того, такие знания позволят решать задачи так называемого оптимального супервизорного управления, т.е. осуществлять выбор единственного события из множества разрешенных супервизором в текущем состоянии, чтобы наискорейшим образом достичь цели управления. Разрабатываемый логический подход может использоваться также для проверки таких важных свойств языков в рамках ТСУ, как нормальность и диагностируемость (*А.В. Давыдов, А.А. Ларионов, к.ф.-м.н. Н.В. Нагул*).

4. Разработаны новые параллельные алгоритмы синтеза нелинейных многокомпонентных систем управления на основе сублинейных векторных функций Ляпунова. Разработана новая технология параметрического синтеза для широкого класса нелинейных многокомпонентных систем управления, базирующаяся на использовании сублинейных векторных функций Ляпунова и ресурсов распределенной вычислительной среды. Задача синтеза ставится как задача определения неизвестных параметров системы, обеспечивающих требуемое свойство системы и оптимизирующих оценку основного показателя динамического качества при заданных ограничениях на некоторые из других оценок. Решение задачи основывается на методике, идея которой состоит в том, чтобы вместо точных значений показателей качества, входящих в критерий и ограничения, использовать их оценки, вычисляемые с помощью ВФЛ. Таким образом, задача синтеза формулируется как задача условной оптимизации с алгоритмически вычисляемыми критерием и ограничениями. В рамках решения сформулированной оптимизационной задачи разработаны подходы к разделению на области пространства допустимых значений искомых параметров и их распределению между узлами вычислительной среды, эволюционный алгоритм для поиска решений в этих областях, а также механизмы обмена наилучшими решениями между узлами. Кроме того, предложены специальные, основанные на ослаблении требований к синтезируемой системе, процедуры, ускоряющие получение начального допустимого решения. Разработанная параллельная технология позволяет формулировать задачи синтеза непосредственно в терминах инженерных требований к системе (прямых показателей динамического качества). Она применима для синтеза нелинейных систем большой размерности (*к.т.н. С.А. Ульянов, к.т.н. Н.Н. Максимкин, А.А. Толстухин*).

5. В рамках геопортала формируется распределенная вычислительная среда, которая ориентирована на применение преимущественно задач обработки и анализа пространственных данных. Разработаны информационно-вычислительные сервисы по стандартам OGC (WPS, WMS, WCS и др.) и сервисы хранения данных, каталог WPS-сервисов (тематических), а также системы выполнения сервисов и их композиций. Реализовано взаимодействие между информационно-вычислительными сервисами, а также сервисами хранения данных, что позволяет упростить их использование. В системе выполнения сервисов и их композиций ведется сбор данных о произведенных вызовах сервисов. Данные включают название сервиса и его адрес, значения входных и выходных параметров, время выполнения сервисов, успешность выполнения, ошибки выполнения и



т.д. Для каждого сервиса известно его расположение, список выходных и входных параметров, типы данных.

Разработанный алгоритм производит поиск сочетания вызовов сервисов, в которых файл, являющийся результатом работы одного сервиса, передается в качестве параметра другому сервису. Предложенный метод построения семантической сети апробирован на небольшом фрагменте данных о применении сервисов пользователями.

Источники данных представлены в виде сервисов, у которых присутствуют только исходящие дуги. Необходимо отметить, что при таком подходе семантика всех параметров сервисов не определяется. Среди положительных моментов укажем, что вместе с семантической сетью получаем связанность параметров по данным, возможные значения параметров, частотные характеристики использования пользователями сервисов и их композиций, время выполнения сервисов и т.д. На основе анализа статистических данных и семантической сети формируются последовательности вызова сервисов в виде программ на языке JavaScript (авторы: к.т.н. Р.К. Федоров, к.т.н. Ю.В. Авраменко).

Программа фундаментальных исследований Президиума РАН I.7. **«Новые разработки в перспективных направлениях энергетики, механики и робототехники»**
Координатор программы – ак. А.Н. Лагарьков

Подпрограмма I.30. **«Теория и технологии многоуровневого децентрализованного группового управления в условиях конфликта и кооперации»**

Координатор программы – чл.-к. РАН Д.А. Новиков

Проект **«Методы, алгоритмы и инструментальные средства децентрализованного группового решения задач в вычислительных и управляющих системах»**

№ гос. регистрации: АААА-А18-118031590006-2

Научный руководитель проекта – ак. И.В. Бычков

1. Разработан новый алгоритм динамического планирования действий агентов управления информационно-вычислительной системой, интегрирующей Grid и облачные вычисления, с учетом отказов ее элементов (авторы: к.т.н. А.Г. Феоктистов, Р.О. Костромин).

2. Разработана новая дискретно-событийная конечно-автоматная модель динамики функционирования вычислительных агентов для децентрализованного управления процессом распределенного сборочного программирования (авторы: д.т.н. Г.А. Опарин, к.т.н. В.Г. Богданова).

3. Предложен подход к координации гетерогенной группы автономных роботов в условиях топливных ограничений при выполнении продолжительных многоцелевых миссий (см. рис. 33). Задача координации заключается в построении такого расписания ротации группы (порядка и времени пополнения каждым роботом своих топливных запасов), которое обеспечило бы максимальную производительность подгрупп роботов, остающихся для выполнения задач на протяжении всей длительности миссии. Эффективность группового расписания обеспечивается (в порядке убывания приоритетности):

1. Поддержанием работоспособности всех роботов в группе (своевременная подзарядка) с учетом количества доступных доков на зарядной станции, объемов аккумуляторных батарей и скорости пополнения заряда на станции;



- II. Постоянным наличием всех необходимых типов бортового оборудования у работающей подгруппы;
- III. Исключением случаев одновременной подзарядки большого количества роботов, в особенности самых быстрых (производительных) из них;
- IV. Отсутствием излишне частых групповых сборов (необходимых для отправки нуждающихся роботов на подзарядку или прием в группу уже зарядившихся роботов) за счет совмещения нескольких подобных событий в одной временной точке.



Рис. 33. Схематическое представление продолжительной миссии группы роботов

Предлагается использование эволюционного подхода к планированию расписания ротации группы роботов с учетом их функциональной и параметрической разнородности. Разработана модификация эволюционных алгоритмов, эффективно реализующая быстрое и надежное составление допустимых групповых расписаний, а также их оперативную корректировку в случае возникновения непредвиденных событий. Используется набор специализированных конструктивных эвристик, адаптированные генетические операторы и оригинальные и продвинутое процедуры улучшения решений. Предложена оригинальная схема кодирования решения, позволяющая значительно понизить размерность задачи и вычислительные затраты на поиск ее решения. Произведена программная реализация разработанного подхода и серия вычислительных экспериментов на сгенерированном наборе тестовых задач, где подход показал свою высокую эффективность и масштабируемость. Пример сгенерированного расписания ротации для разнородной группы из четырех роботов представлен на рис. 34.

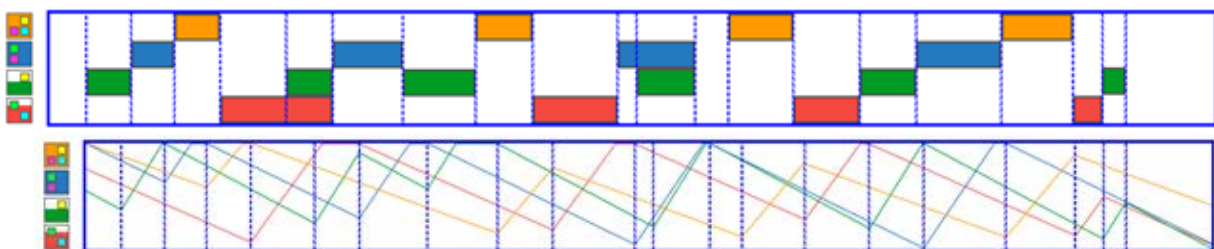


Рис. 34. Пример сгенерированного расписания ротации для разнородной группы из четырех роботов и соответствующий ему график динамики заряда аккумуляторов



**Комплексная программа фундаментальных научных исследований СО РАН № II.1
«Междисциплинарные интеграционные исследования» на 2018-2020 гг.**

Интеграционный проект «Разработка методов и веб-ориентированных технологий тематической обработки мульти- и гиперспектральных данных дистанционного зондирования Земли в задачах экологического мониторинга и рационального природопользования»

Координатор проекта – д.ф.-м.н. О.И. Потатуркин

Блок «Разработка и экспериментальное исследование эффективности методов оценки антропогенного воздействия на окружающую среду»

№ гос. регистрации: AAAA-A18-118031590007-9

Руководитель блока – д.т.н. Г.М. Ружников

Исполнители: к.т.н. Р.К. Федоров, к.т.н. Ю.В. Авраменко

В рамках проекта для поиска антропогенных объектов, определения их формы и их изменений выполнялось развитие метода поиска объектов на основе запросов на языке SOQL, который производит поиск объектов на снимках сверхвысокого разрешения на основе логического вывода и деформируемых моделей. Развитие метода заключалось в реализации сочетания интерпретатора языка SOQL с нейронными сетями. Нейросетевые методы качественно обрабатывают спектральные, текстурные и структурные признаки на основе репрезентативной обучающей выборки. Тем не менее, поиск объектов заданной формы с помощью нейронных сетей требует создания репрезентативной обучающей выборки. Обучающая выборка должна включать все возможные положения объекта с заданной формой. Ее формирование – достаточно сложный процесс. Чтобы исключить необходимость формирования репрезентативной обучающей выборки положений объекта предлагается использовать метод поиска объектов по запросу на языке SOQL в сочетании с нейронной сетью. Нейронная сеть позволяет быстро находить возможные положения объекта по текстурным и спектральным признакам, а метод поиска – определять точное положение объекта по структурному описанию.

В рамках проекта использовалась предобученная модель U-Net. В ходе экспериментов обучающая выборка была составлена из 720 изображений размером 128×128. Для тестирования нейросети обучающая выборка была разделена на тренировочную и тестовую, которые составили 80% и 20%, соответственно. Завершающий шаг по уточнению положения и выбора объектов основан на применении интерпретатора SOQL. Для поиска углов применяется детектор Харриса.

Полученный подход тестировался на аэрофотоснимках, подготовленных исследовательским институтом Inria Sophia Antipolis. Набор включает 180 изображений RGB размером 5000×5000, с пространственным разрешением 0.3 м, покрывающих территорию 810 км².

Разработаны методы анализа серии снимков сверхвысокого разрешения для оценки динамики изменения антропогенных объектов, которые основываются на нейронной сети U-Net и интерпретаторе языка SOQL. Применение нейронных сетей позволяет выделить различные объекты населенных пунктов по текстурным и спектральным признакам, а интерпретатор языка SOQL производит поиск объектов с определенными структурными характеристиками. В результате этого сочетания, например, можно определить тип застройки населенных пунктов.



**Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2019 г.**

Интеграционный проект № 7 «Разработка физических и технологических принципов изготовления приборов, использующих спиновую степень свободы на основе структур с квантовыми точками и материалов, совместимых с кремниевой технологией»

Научный руководитель: чл.-к. РАН А.В. Двуреченский

Блок «Разработка алгоритмов и решение задач управления спиновыми токами в структурах с квантовыми точками»

№ гос. регистрации: АААА-А18-118032090008-8

Руководитель блока: д.т.н. А.Ю. Горнов

Исполнители: к.т.н. Т.С. Зароднюк, А.С. Аникин, П.С. Сорокиков

Разработаны алгоритмы идентификации математических моделей процесса релаксации фотопроводимости массива квантовых точек в магнитном поле. Реализована и протестирована многометодная вычислительная технология для исследования экстремальных свойств изучаемых моделей. Созданы методики компьютерного эксперимента и проведены многовариантные расчеты по верификации и проверке адекватности предложенных в рамках проекта моделей относительно сформированных групп однородных натуральных экспериментов. Проведены вычислительные эксперименты, в результате которых были найдены наборы параметров, с хорошей точностью описывающих экспериментальные данные и позволившие объяснить наблюдаемое в эксперименте необычное поведение фотопроводимости в магнитном поле. Полученные результаты позволили воспроизвести в вычислительном эксперименте ускорение релаксации фотопроводимости массива квантовых точек в магнитном поле.

Интеграционный проект № 39 «Карбон-пермо-триасовые гранитоидные батолиты и базит-ультрабазитовые комплексы южного обрамления северо-азиатского кратона: возрастные рубежи, численные модели формирования, металлогения»

Научный руководитель: чл.-к. РАН Е.В. Скляр

Блок «Разработка алгоритмов и методик параметрической идентификации динамических моделей формирования батолитов и базит-ультрабазитовых комплексов»

№ гос. регистрации: АААА-А18-118032090006-4

Руководитель блока: д.т.н. А.Ю. Горнов

Исполнители: В.В. Козлов, А.С. Аникин, к.т.н. Т.С. Зароднюк, П.С. Сорокиков

Проведена структурная идентификация модели гранитоидного магматизма, описываемой системой дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка. Для постановки задачи параметрической идентификации предложенной модели была создана информационная система, включающая результаты полевых исследований, проводимых в последние годы сотрудниками Института земной коры СО РАН. Численное решение задачи параметрической идентификации выполнялось с применением



многометодных вычислительных технологий, основанных как на глобализованных алгоритмах (Лууса-Яаколы, Пауэлла-Брента, Растригина), так и на алгоритмах локального поиска – сопряженных градиентов и квазиньютоновских. Проведенное математическое моделирование открывает реальные возможности изучения проблемы правомерности отнесения исследованных гранитоидных батолитов и ассоциирующих с ними базит-ультрабазитовых комплексов к редко встречающемуся в мире и не имеющего аналогов на территории Российской Федерации «сиалическому» типу крупных магматических провинций.

Интеграционный проект № 66 «Подходы к разработке стратегий и программ социально-экономического развития сибирских регионов с экстремальными природно-климатическими условиями»

Научный руководитель: чл.-к. РАН В.И. Сулов

Блок «Создание специализированного программного инструментария, способного производить анализ многомерных экономических моделей динамического типа с невыпуклыми критериями качества»

Руководитель блока: д.т.н. А.Ю. Горнов

Исполнители: д.ф.-м.н. А.Л. Казаков, к.ф.-м.н. А.А. Лемперт, А.С. Аникин, к.т.н. Т.С. Зароднюк, П.С. Сорокинов

Разработан программный комплекс, позволяющий эффективно исследовать типичные в экономических приложениях оптимизационные задачи, в том числе задачи в динамических постановках (дифференциальные управления, рекуррентные соотношения), с балансовыми и траекторными ограничениями, невыпуклыми терминальными и интегральными функционалами и другие. Реализованы алгоритмы оптимизации как для линейных, так и для нелинейных динамических моделей, рассматриваемых и в непрерывном, и в дискретном времени. Были разработаны интерфейсы программного комплекса, средства верификации программной постановки задачи, технологии визуализации получаемых решений. Алгоритмическое наполнение программного комплекса составляют библиотеки алгоритмов интегрирования систем дифференциальных уравнений, алгоритмов оптимизации, включающих как ряд новых алгоритмов, демонстрирующих высокую конкурентоспособность, так и набор специализированных модификаций традиционных методов, позволяющих обеспечивать надежность выполняемых расчетов. Успешно решен ряд новых содержательных задач, связанных с проблемой территориальной связанности России.



**ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОЕКТАМ, ПОДДЕРЖАННЫМ
СОВЕТОМ ПО ГРАНТАМ ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Грант Президента РФ МК-4155.2018.9 «Разработка параллельных алгоритмов решения проблемы булевой выполнимости на основе методов машинного обучения с применением к задачам криптографии»

Руководитель проекта – к.т.н. О.С. Заикин

Предложен алгоритм машинного обучения, предназначенный для определения полезности конфликтных дизъюнктов, генерируемых в CDCL-выводе. Предложенный алгоритм использует бинарный классификатор, который основан на методе опорных векторов. Реализация данного алгоритма была сделана на базе известного CDCL-решателя Glucose. Полученный модифицированный решатель позволил быстрее (в сравнении с исходным решателем) решить трудные SAT-задачи из нескольких семейств, использованных в соревновании SAT Competition 2018. Кроме того, был получен ряд дополнительных результатов. Во-первых, были предложены и реализованы новые алгоритмы псевдобулевой оптимизации, предназначенные для построения декомпозиций трудных SAT-задач. Эти алгоритмы были применены для оценки трудоемкости решения задач SAT-криптоанализа поточных шифров Mickey, Grain_v1, Rabbit и Trivium. Во-вторых, был подготовлен вычислительный эксперимент, направленный на решение трудных SAT-задач в проекте добровольных распределенных вычислений. Речь идет о SAT-задачах, кодирующих ослабленные задачи криптоанализа поточных шифров Mickey и Grain_v1.

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

Описан новый класс атак поиска прообразов (preimage attacks) на различные варианты хеш-функции MD4 (причем как на ослабленные по числу шагов версии этой функции, так и на полнораундовый вариант). Предложенные атаки основаны на идее Г. Доббертина ослабления уравнений криптоанализа функций вида MD4-k (k – число шагов) за счет наложения дополнительных ограничений на некоторые промежуточные шаги (т.н. «переменные сцепления»). Было показано, что с каждым таким набором ослабляющих ограничений естественным образом связывается вспомогательная функция, длина входа которой может быть существенно меньше 512 бит. С одной стороны, от прообраза произвольного значения такой функции можно эффективно перейти к прообразу этого значения в смысле исходной функции MD4-k. С другой стороны, вспомогательная функция зачастую обращается существенно эффективнее, чем соответствующая ей функция MD4-k. С



использованием вспомогательных функций были построены семейства легко обратимых выходов ряда функций MD4-k, так, для k=44 было показано, что число ее легко обратимых выходов не меньше, чем 2^{96} . Для полнораундовой хеш-функции MD4 с использованием вспомогательных функций было конструктивно описано множество, состоящее из приблизительно 2^{32} легко обратимых выходов. Таким образом, было показано, что ни одна из функций MD4-k, в том числе и полнораундовая MD4, не удовлетворяют свойствам случайного оракула.

Стипендия Президента РФ молодым ученым и аспирантам СП-3545.2019.5
«Разработка комплекса алгоритмов для поиска декомпозиций трудных примеров задачи булевой выполнимости с применением методов комбинаторной оптимизации»

Руководитель проекта – С.Е. Кочемазов

Получен ряд результатов в направлении решения трудных примеров задачи булевой выполнимости (SAT) с использованием т.н. недетерминированных лазеек. Более конкретно, для специальной функции, которая оценивает время решения трудного примера SAT при декомпозиции по фиксированному множеству переменных, было реализовано несколько алгоритмов ее оптимизации. Результатом оптимизации является множество переменных, использование которого для построения декомпозиции приводит к наименьшему по прогнозу общему времени решения построенных подзадач. Был проведен сравнительный анализ эффективности разных алгоритмов оптимизации в применении к рассматриваемой задаче. Оказалось, что большинство алгоритмов, в которых переход между точками пространства поиска предусматривает просмотр всей окрестности текущего рекорда работают хуже, чем steepest ascent методы и варианты эволюционных алгоритмов типа 1+1-ЕА. В то же время последние могут стабилизироваться на худших точках по сравнению с менее быстрыми методами. Описанные и дополнительные результаты были опубликованы в ряде статей в рейтинговых журналах и трудах международных конференций.



**ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОВЕДЕННЫЕ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ
РОССИЙСКОГО НАУЧНОГО ФОНДА**

Проект РНФ № 16-11-00053 «Разработка методов исследования и построения иерархических систем децентрализованного интеллектуального управления группами автономных поисково-обследовательских роботов в условиях неопределенности»

№ гос. регистрации: АААА-А16-116031110118-2

Руководитель проекта – ак. И.В. Бычков

Для разрабатываемого в рамках проекта моделирующего программного комплекса (МПК) был создан язык описания заданий и групповых миссий на основе языка позитивно-образованных формул (ПОФ). Разработано формальное описание грамматики языка как языка для логического программирования. В отличие от формального математического описания исчисления данный язык хорошо приспособлен для программирования. В разработанный язык, помимо логических конструкций, введены синтаксические элементы, с помощью которых можно описывать системные (вычисляемые) предикаты, а также предикаты, влияющие на сам логический вывод (ЛВ) в исчислении ПОФ. Системные предикаты в формуле, с помощью которой формализуется миссия, связаны с остальными компонентами МПК посредством передачи команд в МПК в случае, если в результате ЛВ системный предикат попал в базу фактов. Связь в обратную сторону, т.е. передача сообщений от МПК в систему ЛВ, осуществляется также с помощью системных предикатов, выполняющих функцию запроса данных, описывающих состояние МПК.

Разработан метод построения модульных супервизоров для дискретно-событийных систем (ДСС) как верхнеуровневых моделей АПР и их групп, основанный на применении средств автоматического доказательства теорем в исчислении ПОФ. В результате ЛВ теорем, представленных ПОФ с подформулами, отвечающими управляемой системе и требованиям, подлежащим удовлетворению, делается заключение о возможности построения соответствующего супервизорного управления или в случае невозможности выдается набор параметров системы, препятствующих этому. Использование полученной таким образом информации позволяет уменьшить перебор комбинаций подсистем и спецификаций, необходимых при построении модульных супервизоров.

Разработан алгоритм проверки конфликтности языков, генерируемых локальными супервизорами, основанный на том факте, что два формальных языка не конфликтуют, если их параллельная композиция является неблокирующей. Предложен новый способ представления конечных автоматов, являющийся основой для моделирования ДСС с помощью ПОФ. Новая формализация конечных автоматов как генераторов формальных языков, участвующих в алгоритмах теории супервизорного управления (ТСУ), более компактна, чем формализация, предложенная ранее в рамках проекта, и дает больше возможностей при настройке стратегий поиска логического вывода. С помощью указанного способа разработан новый метод построения параллельных композиций конечных автоматов и, как следствие, генерируемых ими языков. Преимуществом метода является тот факт, что автомат-композиция, получающийся в результате завершения вывода, не имеет



недостижимых состояний, поэтому нет необходимости использовать операцию сокращения. Предложенный метод построения параллельной композиции позволяет эффективно осуществлять проверку конфликтности языков и находить события и слова, приводящие к конфликту.

Разработана расширенная математическая модель задачи систематического многоцелевого мониторинга в виде новой вариации задачи маршрутизации транспорта. В предложенной постановке используются сразу три группы ограничений, описывающих как требования к обследованию целей миссии, так и к взаимному движению роботов группы: пространственные, временные и ограничения обслуживания. Такие задачи, объединяющие в себе целый спектр ограничений различной природы, призванных обеспечить детальное моделирование реальных задач, принято относить к актуальному классу мульти-атрибутных задач маршрутизации. Децентрализованное планирование допустимых групповых маршрутов, обеспечивающих своевременное выполнение всех задач с учетом действующих ограничений, осуществляется разработанной гибридной модификацией эволюционных алгоритмов, эффективность работы которой обеспечивается применением специализированных конструктивных эвристик, продвинутых методов локального поиска, а также дополнительной процедуры самоадаптации алгоритма. Произведена программная реализация подхода в рамках разрабатываемого моделирующего комплекса. Предложенный эволюционный подход демонстрирует высокое качество результатов на большом наборе тестовых задач, в том числе на задачах с высокой степенью гетерогенности объектов.

Разработаны основанные на сублинейных векторных функциях Ляпунова (ВФЛ) алгоритмы строгого анализа и синтеза нелинейных цифровых систем, управляемых на основе событий. Предполагается, что модель исследуемой системы представлена в некотором стандартном виде с учетом неопределенности параметров объекта управления и нелинейности характеристик исполнительных органов и датчиков. Разработанные алгоритмы обеспечивают анализ различных динамических свойств указанных систем, вычисление основных прямых показателей динамического качества, а также синтез параметров, исходя из обеспечения требуемого либо наилучшего динамического качества системы. При этом задачи анализа и синтеза формулируются непосредственно в терминах инженерных требований к системе (прямых показателей динамического качества); результаты получаются в том же виде. Выполнена численная реализация алгоритмов в виде инструментального средства системы Matlab. Возможности созданного инструментального средства позволяют экранировать от пользователя (инженера-практика) используемые специальные, достаточно сложные в математическом отношении методы.

Предложена архитектура многоуровневой системы управления группой АПР для выполнения типовых поисково-обследовательских миссий и работ по мониторингу подводной среды. В соответствии с предложенной архитектурой система управления включает три уровня: стратегический уровень, ответственный за планирование групповой миссии (распределение заданий между участниками группы), тактический уровень, определяющий логику выполнения текущего задания и ответственный за выбор подходящего шаблона поведения (режима функционирования) АПР, а также исполнительный уровень для реализации выбранного шаблона поведения.



Разработан прототип моделирующего программного комплекса для тестирования и отладки алгоритмических и коммуникационных схем, используемых для управления группировками АПР. В программном комплексе реализованы алгоритмы генерации реалистичного подводного ландшафта, базовые алгоритмы и средства симуляции подводной среды и роботов, а также инструменты для работы с различными трехмерными объектами. Предложен подход к генерации подводного рельефа на основе использования шума Перлина. Основная идея подхода заключается в комбинировании слоев, полученных при различных характеристиках шума, с последующим процедурным текстурированием. Предложенный подход позволяет создавать трехмерные модели рельефа дна, близкие по визуальному восприятию к прообразам реального мира.

Проект РНФ № 16-11-10046 «Применение параллельных и распределенных алгоритмов решения проблемы булевой выполнимости (SAT) к криптоанализу, поиску комбинаторных структур и исследованию дискретных моделей коллективного поведения»

Руководитель проекта – к.т.н. А.А. Семенов

Был исследован детерминированный вариант известной линейной пороговой модели (Deterministic Linear Threshold Model, DLTМ) распространения влияния в сетях на предмет поиска множеств активирующих агентов относительно малой мощности, активирующих подавляющую часть сети. Соответствующая комбинаторная задача расстановки активирующих агентов известна как «Проблема максимизации влияния» (Influence Maximization Problem, IMP). Известно, что в недетерминированном варианте решение IMP с гарантированной (и относительно небольшой) погрешностью может быть найдено при помощи простейшего алгоритма жадного (greedy) типа. Однако в детерминированном варианте (а именно он интересен из практических соображений) данная задача не только NP-трудна, но и не имеет приближенных алгоритмов решения с гарантированной погрешностью в предположении, что P не равно NP. В рамках проведенных исследований применительно к DLTМ/IMP были разработаны алгоритмы гибридного типа, в которых жадные стратегии используются для быстрого достижения некоторого начального приближения, а затем приближенные решения итеративно улучшаются при помощи SAT-решателей. Для сетей на нескольких сотнях вершин разработанные алгоритмы позволяли находить решения IMP, которые оказывались существенно лучше, чем решения, найденные описанными в доступных источниках алгоритмами. В этом же блоке исследований была построена новая программная реализация разработанных нами ранее алгоритмов генерации графов атак в компьютерных сетях. В новой программе взамен SAT-решателя используется явное распространение ограничений в рамках быстрых структур данных, реализованных на языке C++. В ряде случаев построенная программная система генерирует графы атак в разы быстрее, чем предыдущая версия. На текущую версию программы UnProVET генерации графов атак получено программное свидетельство.

Были построены алгебраические атаки на некоторые известные симметричные шифры (Simon, Speck, PRESENT, Trivium, Grain v1). Основная новизна построенных атак



заключается в том, что для оценивания их трудоемкости используется формализованный вариант понятия SAT-иммуности, относительно которого доказано, что соответствующие оценки имеют гарантированную точность. Теория таких оценок базируется на том факте, что со случайными парами вход/выход рассматриваемой криптографической функции и множеством угадываемых бит (guessed bits set) может быть связана случайная величина, принимающая значения в множестве $\{0,1\}$ («бернуллиевская величина») и, таким образом, имеющая известную верхнюю оценку дисперсии. Этот факт позволяет использовать метод Монте-Карло для оценивания вероятности данной случайной величины с любой наперед заданной точностью. Для поиска множества угадываемых бит, дающего минимальную по трудоемкости атаку, могут быть использованы различные метаэвристические алгоритмы, применяемые в псевдобулевой оптимизации (конкретно, для поиска экстремумов black-box функций). Задачи минимизации такого сорта оценочных функций были решены для перечисленных выше шифров. В результате было показано, что, например, ослабленные по числу раундов варианты шифра Simon с 64-битным ключом являются нестойкими, если число раундов < 20 . Трудоемкость алгебраических SAT-атак для вариантов данного шифра с числом раундов > 20 мало отличается от трудоемкости аналогичных атак для его полнораундовой версии (т.е. для ситуации, когда число раундов равно 32). В отношении рассматриваемого класса атак полнораундовые шифры Simon и PRESENT оказываются сопоставимыми по стойкости. Шифр Speck, с другой стороны, является существенно более стойким, чем Simon. Особенно интересно, что для полнораундового PRESENT с 80-битным ключом предложенные алгоритмы дают атаку, которая примерно в 10^5 раз эффективнее, чем атаки, получаемые этими алгоритмами для 80-битных поточных шифров Trivium и Grain v1. Еще раз подчеркнем, что оценки трудоемкости атак, о которых идет речь, имеют гарантированную точность.

Была предложена новая метаэвристическая стратегия, применимая для оптимизации произвольных псевдобулевых функций, в том числе и функций типа «черный ящик» (black box function). В основе новой стратегии лежит идея использовать специальные сюръективные отображения: каждое такое отображение сопоставляет множеству булевых переменных множество переменных меньшей мощности. Такие отображения называются склеивающими (merging mapping), а полученные с их помощью переменные называются склеенными (merged variables). Области значений склеенных переменных называются доменами. Декартовы произведения доменов, обозначаемые D^m , где m – конкретное склеивающее отображение, является метрическим пространством с метрикой Хэмминга. Показано, что между исходным булевым гиперкубом $\{0,1\}^n$ и пространством D^m существует биекция. На основании этого факта задача оптимизации исходной псевдобулевой функции f на $\{0,1\}^n$ сводится к задаче оптимизации т.н. « m -сопряженной к f » функции в пространстве D^m . Показано, что экстремальные значения этих функций совпадают. Можно привести множество примеров, когда точка в $\{0,1\}^n$ является локальным экстремумом f в окрестности Хэмминга радиуса 1, но образ этой точки не является локальным экстремумом в аналогичной окрестности в пространстве D^m . В этой ситуации алгоритм Hill Climbing, будучи запущенным в D^m , может улучшить текущее рекордное значение функции f . Был предложен алгоритм, комбинирующий стратегию склеивания переменных с известным эволюционным



алгоритмом (1+1)-EA. В отношении полученного алгоритма (который был назван (1+1)-MVEA – (1+1) Merging Variables Evolutionary Algorithm) было доказано, что, во-первых, математическое ожидание числа бит, которые переворачиваются в рамках одной итерации этого алгоритма, равно 1. Это означает, что (1+1)-MVEA сохраняет одно из важнейших базовых свойств исходного (1+1)-EA. С другой стороны, для ряда частных случаев (1+1)-MVEA построены верхние оценки, которые оказываются асимптотически ниже, чем аналогичные оценки для оригинального алгоритма (1+1)-EA.

Была предложена новая схема пропозиционального кодирования свойства элементов произвольного конечного множества быть различными. Такого рода предикаты возникают во многих комбинаторных задачах и, в том числе, в задачах существования некоторых комбинаторных структур (combinatorial designs). Была построена новая пропозициональная кодировка свойства различия, основанная на использовании специального OtO-предиката (от «One-to-One»). Доказано, что новая кодировка асимптотически экономнее известной кодировки, базирующейся на т.н. «ООС-предикате» (сокращение от «Only One Cardinality»). Для практического сравнения OtO- и ООС -кодировок мы построили с их использованием SAT-задачи, кодирующие существование греко-латинских квадратов 10-го порядка. В вычислительных экспериментах SAT-решатель (использовались многопоточные SAT-решатели Plingeling и Painless) порождал очередной греко-латинский квадрат в среднем за полчаса для SAT-задачи, основанной на ООС-кодировке, и за 15 минут для аналогичной задачи, построенной на базе OtO-кодировки.

Был разработан SAT-решатель, основную новизну которого составила специальная техника учета повторно порождаемых конфликтных ограничений. Эта техника была скомбинирована с решателем MapleLCMDistChronoBT – победителем соревнований SAT решателей 2018 года «SAT Competition-2018». Результатом стал новый SAT-решатель, получивший название MapleLCMBDistChronoBT-DL (DL – аббревиатура новой эвристики, являющаяся сокращением от «Duplicate Learnts»). Решатель MapleLCMDistChronoBT-DL победил на соревнованиях SAT-решателей 2019 года «SAT race-2019» в двух из трех основных категорий («UNSAT» и «SAT+UNSAT») (<http://sat-race-2019.ciirc.cvut.cz/>).

Проект РНФ 17-71-10176 «Параллельные вычисления и методы целочисленного программирования для задач кластеризации и интеллектуального анализа больших массивов данных»

№ гос. регистрации: АААА-А17-117100670002-3

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. А.В. Ушаков

Разработаны параллельные и распределенные алгоритмы кластеризации, основанные на поиске близких к оптимальному решений в задаче о k-медоидах и ее нелинейной модификации с нефиксированным числом кластеров. Программно реализованы и проанализированы версии для суперкомпьютеров с общей памятью и вычислительных кластеров.

С использованием ресурсов Иркутского суперкомпьютерного центра СО РАН проведен обширный вычислительный эксперимент по тестированию разработанных



**Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2019 г.**

алгоритмов в приложении к задаче анализа больших коллекций медиаданных, в частности, изображений человеческих лиц. Исследовано приложение разработанных алгоритмов кластеризации в области оптимального разделения баз данных социальных сетей, в частности, разработаны варианты для задач на графах, возникающих в области социальных медиа.

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

№ гос. регистрации: АААА-А18-118082090003-8

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

Выполнено развертывание инфраструктуры проекта (средств управления разработкой программного обеспечения и сайта). Разработано алгоритмическое обеспечение анализа произвольных таблиц (в том числе алгоритмов анализа иерархических отношений единиц табличных данных и реконструкции физической структуры ячеек). Усовершенствован предметно-ориентированный язык анализа и интерпретации таблиц за счет встраивания реализованной функциональности ролевого и структурного анализа таблиц. Разработана грамматика, объектная модель и интерпретатор данного языка с целью синтеза исходного кода программ трансформации табличных данных. Выполнено прототипирование системы генерации связанных данных на основе извлечения табличной информации. Спроектирована архитектура и объектная модель предлагаемой инструментальной платформы.

Сотрудники ИДСТУ СО РАН также проводили исследования по проектам РНФ под руководством ведущих ученых из других научных организаций:

Проект РНФ 17-11-01093 «Приближенно оптимальные стратегии в игровых задачах управления»

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Ю.В. Авербух

Исполнитель от ИДСТУ СО РАН – к.ф.-м.н. Н.И. Погодаев

Проект РНФ № 18-12-00128 «Прецизионное исследование связанных состояний частиц в квантовой теории поля»

Руководитель проекта – д.ф.-м.н. А.П. Мартыненко

Исполнитель от ИДСТУ СО РАН – к.ф.-м.н. А.Е. Раджабов

Проект РНФ № 18-41-06003 «Карлсруэ-Российская инициатива по работе с астрофизическими данными на протяжении их жизненного цикла»

Руководитель проекта – к.ф.-м.н. А.П. Крюков

Исполнители от ИДСТУ СО РАН – ак. И.В. Бычков, к.т.н. А.О. Шигаров, к.т.н. А.А. Михайлов



**ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОВЕДЕННЫЕ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ
РОССИЙСКОГО ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

По программам РФФИ выполнялись работы по проектам:

- 16-29-04238_офи_м «Методы и алгоритмы управления многокомпонентными робототехническими комплексами поисково-обследовательского класса в задачах исследования подводной среды»
Руководитель проекта – ак. И.В. Бычков
- 17-01-00733_a «Вариационные условия оптимальности с позиционными управлениями в нелинейных задачах оптимизации обыкновенных и импульсных динамических систем»
Руководитель проекта – д.ф.-м.н. В.А. Дыхта
- 17-07-00627_a «Разработка алгоритмов поиска глобального экстремума функционалов на основе технологии машинного обучения с подкреплением»
Руководитель проекта – к.т.н. Т.С. Зароднюк
- 17-47-380007_p_a «Моделирование информационной инфраструктуры цифровой экономики Иркутской области»
Руководитель проекта – д.т.н. Г.М. Ружников
- 18-01-00026_a «Управляемые вариационные неравенства с препятствиями»
Руководитель проекта – чл.-к. РАН А.А. Толстоногов
- 18-01-00643_a «Дифференциально-алгебраические и вырожденные дифференциально-операторные уравнения: качественная теория и разностные аппроксимации»
Руководитель проекта – д.ф.-м.н. М.В. Булатов
- 18-07-00587_a «Вычислительные технологии оптимизации для задач атомно-молекулярного моделирования и молекулярной динамики»
Руководитель проекта – д.т.н. А.Ю. Горнов
- 18-07-00596_a «Логические методы и средства автоматизации качественного анализа двоичных динамических систем»
Руководитель проекта – д.т.н. Г.А. Опарин
- 18-07-00604_a «Интеллектуальная информационно-вычислительная технология поддержки принятия решений в задачах инфраструктурной микро- и мезологистики»
Руководитель проекта – к.ф.-м.н. А.А. Лемперт
- 18-07-00758_a «Методы, технологии и инструментальные средства разработки программного обеспечения проблемно-ориентированных информационных систем на основе конструктивных спецификаций»
Руководитель проекта – ак. И.В. Бычков



**Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2019 г.**

- 18-07-01037_a «Надежность в дискретных задачах размещения: модели и методы решения»
Руководитель проекта – к.ф.-м.н. И.Л. Васильев
- 18-07-01164_a «Модели, методы и программные средства для создания агентных имитационных моделей на основе модельно-управляемого подхода»
Руководитель проекта – д.т.н. О.А. Николайчук
- 18-08-00560_a «Методы и модели исследования и обеспечения техногенной безопасности на основе принципов самоорганизации и чувствительности объектов к начальным условиям»
Руководитель проекта – д.т.н. А.Ф. Берман
- 18-31-20030
_мол_a_вед «Динамические системы в пространствах мер и задачи импульсного управления»
Руководитель проекта – к.ф.-м.н. М.В. Старицын
- 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 систем»
Руководитель проекта – к.ф.-м.н. А.А. Косов



МЕЖДУНАРОДНЫЕ ГРАНТЫ РФФИ

- РФФИ № 17-57-44006_Монг_а «**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 №18-51-54001_Вьет_а «**Исследование качественных свойств дифференциально-алгебраических уравнений и построение численных алгоритмов для их решения**»
Научный руководитель проекта от России – д.ф.-м.н. М.В. Булатов

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО МОЛОДЕЖНЫМ ПРОЕКТАМ

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**»

Исследования, поддержанные грантами РФФИ для молодых ученых:

- | | |
|-------------------|--|
| 18-31-00465_мол_а | « Численные методы поиска глобального решения в невыпуклых задачах оптимального управления линейными системами »
<i>Руководитель проекта – М.В. Янулевич</i> |
| 18-31-00425_мол_а | « Задачи теории управления некоторыми новыми классами гибридных динамических систем »
<i>Руководитель проекта – Н.С. Малтугова</i> |



**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 2019 г. составила 100 %.

Создание Центра обработки данных (ЦОД)

Приоритетным направлением работ по развитию инфраструктуры ИИВС в рамках созданного ЦКП остается создание на базе ИДСТУ СО РАН Центра обработки данных уровня TIER II/III, соответствующего международному стандарту TIA-942. В отчетном году велась организационная работа по формированию комплектов документов по развитию данного направления в рамках нескольких проектов, в том числе по созданию «Центра цифрового мониторинга оз. Байкал» как направления реализации сетевого проекта в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 01.12.2018 № 2659-р.

Развитие сети хранения данных

Существующая система хранения данных HPE MSA 2040 расширена дополнительным модулем (дисковой полкой HPE MSA 2050), суммарная «сырая» емкость данной СХД увеличена до 129 ТБ.

Развитие локально-вычислительных сетей и каналов связи

Ядро сети модернизировано новым коммутатором Cisco 4506-E, предоставляющим широкие возможности по дальнейшему расширению пропускной способности сети передачи данных до 10Gb/s

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. Костромин

1. Разработка и поддержание в актуальном состоянии документов, регламентирующих деятельность ЦКП ИСКЦ (в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 17 мая 2016 года № 429). *Разработаны проекты типовых договоров о возмездном и безвозмездном оказании вычислительных услуг.*

2. Работа с пользователями ЦКП ИСКЦ: заключение договоров, регистрация и инструктаж новых пользователей, реагирование на обращения пользователей в службу технической поддержки, установка и настройка программного обеспечения пользователей и т.д. *Осуществлен переход на договорную основу: заключены договоры с 12 научными и образовательными учреждениями. На основании заключенных договоров проведена перерегистрация пользователей. Получено более 80 заявок на доступ к оборудованию ЦКП ИСКЦ. Обработано более 160 тикетов (обращений пользователей в службу технической поддержки).*

3. Информационно-методическая поддержка пользователей ЦКП ИСКЦ: обновление правил, инструкций, руководств, размещение материалов на сайте ЦКП ИСКЦ <http://hpc.icc.ru>. *Обновлен регламент доступа к оборудованию ЦКП ИСКЦ, в том числе правила коллективного пользования оборудованием и порядок оказания услуг.*

4. Мониторинг состояния оборудования ЦКП ИСКЦ.

5. Сопровождение встроенного и системного программного обеспечения, установленного на оборудовании ЦКП ИСКЦ.

6. Организация и проведение сервисного обслуживания и ремонта оборудования вычислительной и инженерной инфраструктуры ЦКП ИСКЦ. *Организованы и проведены конкурсные процедуры и работы по сервисному обслуживанию и ремонту инженерного и вычислительного оборудования ЦКП ИСКЦ.*

7. Проведение лекций и экскурсий в ЦКП ИСКЦ для зарубежных и российских научных делегаций, представителей научных и образовательных учреждений, студентов и школьников, в том числе в рамках программы «Школы РАН».

8. Подготовка отчетов о деятельности ЦКП ИСКЦ по запросам Минобрнауки России и Научного совета по супервычислениям СО РАН.



ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

В 2019 г. получено 7 свидетельств о государственной регистрации результатов интеллектуальной деятельности:

1. *Дородных Н.О., Юрин А.Ю.* Knowledge Base Development System: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019661803 от 09.09.2019. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2019.
2. *Горский С.А., Богданова В.Г.* Параллельный решатель проверки истинности 2QBF формул Hrc2qall: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019663252 от 14.10.2019. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2019.
3. *Горбатенко Д.Е., Семенов А.А.* Программа для генерации графов атак с применением алгоритмов решения задачи булевой выполнимости: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019663838 от 24.10.2019. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2019.
4. *Кочемазов С.Е., Заикин О.С.* Программа для оценивания эффективности декомпозиций трудных экземпляров задачи булевой выполнимости с применением произвольных решателей и возможностью варьирования их параметров: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019664390 от 06.11.2019. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2019.
5. *Михайлов А.А., Шигаров А.О., Крюков А.П., Коростелева Е.Е., Нгуен М.Д., Бычков И.В.* Программа извлечения метаданных из файлов формата TAIGA-IACST: MDE IACST: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019664787 от 13.11.2019. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2019.
6. *Ларионов А.А.* Система автоматического доказательства теорем в исчислении позитивно-образованных формул rcfbucket: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019667624 от 26.12.2019. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2019.
7. *Михайлов А.А., Шигаров А.О., Крюков А.П., Коростелева Е.Е., Нгуен Минь Дык, Бычков И.В.* Программа чтения бинарного формата данных TAIGA-IACST: IACST Reader: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019664196 от 01.11.2019. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2019.

Выполнено научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию и развитию информационных систем для органов управления Иркутской области и г. Иркутска по 4 контрактам на сумму 169 491,53 рублей.

Выполнены работы по договору на оказание услуг, связанных с эксплуатацией Интегрированной информационно-вычислительной сети Иркутского научно-образовательного комплекса, на сумму 1 203 336,99 рублей.



НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Ученый совет

Ученый совет Института утвержден приказом директора ИДСТУ СО РАН № 24 от 30.06.2017 г. В 2019 году проведено 12 заседаний, на которых рассматривались вопросы научной и научно-организационной деятельности. Заслушаны отчеты о результатах НИР по плановым темам Института за 2019 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 2019 г. защит диссертаций на соискание ученых степеней не было.

Научные кадры

По состоянию на 31 декабря 2019 г. в Институте работали 153 человека, из них 83 – научные работники, в том числе 1 действительный член РАН, 1 член-корреспондент РАН, 23 доктора наук и 52 кандидата наук.

Возрастная структура кадров по категории штатных научных работников приведена в таблице

Научные работники	до 39 лет	40–60 лет	61–64 лет	65 лет и старше
Академики	–	1	–	–
Чл.-к. РАН	–	–	–	1
Доктора наук	–	7	1	14
Кандидаты наук	30	19	1	2
Без ученой степени	7	–	–	–
Всего	37	27	2	17

Средний возраст:	докторов наук	– 66,4
	кандидатов наук	– 42,3
	научных работников без степени	– 31,8

В 2019 году в аспирантуру Института принято 2 аспиранта очной формы обучения и 1 аспирант заочной формы обучения. Всего в 2019 году (по состоянию на 31.12.2019) в Институте обучалось 9 аспирантов.



Конференции и семинары

Институтом в 2019 году организованы и проведены:

- 8-я Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ-2019 (8th International Conference on Systems Analysis and Information Technologies), 8–14 июля 2019 года, г. Иркутск – Байкал, ИДСТУ СО РАН, ФИЦ ИУ РАН.
- Конференция «Ляпуновские чтения», 2-6 декабря 2019 г., г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН.
- 1st International Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments, ICCS-DE 2019, 9 июля 2019 года, г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН.
- 2nd Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems, ITAMS 2019, 20 сентября 2019 года, г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН.

Связи с вузами

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

Сотрудники Института возглавляют 1 кафедру 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.

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.
- 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).
- Совет по супервычислениям СО РАН – ак. И.В. Бычков, к.т.н. А.П. Новопашин.
- 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.



**Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2019 г.**

- 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.

Членство в национальных и международных научных организациях

- Association for Computing Machinery – ACM – к.т.н. А.Ю. Юрин.
- 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.
- The International Physics and Control Society (IPACS) – д.ф.-м.н. В.Д. Иртегов.
- Международная Академия навигации и управления движением – д.т.н. Э.И. Дружинин, д.ф.-м.н. А.В. Лакеев.
- Российская ассоциация искусственного интеллекта (РАИИ) – д.т.н. А.Ф. Берман, д.т.н. О.А. Николайчук, к.т.н. А.Ю. Юрин.
- 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 Российской ассоциации искусственного интеллекта – д.т.н. О.А. Николайчук (председатель).
- Российский национальный комитет по автоматическому управлению (РНКАУ) – д.ф.-м.н. И.А. Финогенко (член бюро комитета).
- Российская ассоциация математического программирования – д.т.н. А.Ю. Горнов.

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

Д.т.н. А.Ф. Берман – приглашенный 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.
- 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.



**Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2019 г.**

- 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.
- Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых – 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 (Bulgaria) – 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).
- Numerical Algebra, Control and Optimization (NACO), USA – д.т.н. А.Ю. Горнов.
- Yugoslav Journal of Operations Research – к.ф.-м.н. А.В. Орлов (приглашенный редактор).

**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.
- 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.
- 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.
- Научно-технический совет при Главном управлении МЧС по Иркутской области – ак. И.В. Бычков, д.т.н. А.Ф. Берман.
- Российское научное общество анализа риска – д.т.н. А.Ф. Берман.
- Иркутское отделение Российского научного общества анализа риска – д.т.н. А.Ф. Берман (председатель).
- Рабочая группа по созданию платформы «Цифровой Байкал» при правительстве Иркутской области – д.т.н. Г.М. Ружников.
- Молодежная секция Координационного совета по науке при губернаторе Иркутской области – к.ф.-м.н. М.В. Старицын.

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

1. Выезд в зарубежные командировки

В 2019 году сотрудники ИДСТУ СО РАН совершили 18 выездов в зарубежные командировки для участия с докладами в работе международных научных конференций, выполнения совместных научных исследований, проведения переговоров в 8 странах мира, такие как Беларусь, Вьетнам, Китай, Литва, Монголия, Польша, Румыния, Хорватия.

2. Сотрудничество с зарубежными научными центрами

Проводились научные исследования, поддержанные международными грантами:

– РФФИ проект № 17-57-44006_Монг_а «Инфраструктура и технологии создания сервисно-ориентированной информационно-аналитической системы зонирования сейсмической опасности больших литосферных блоков Прибайкалья и Монголии», руководитель проекта – зав. отделением 4 Информационных технологий и систем д.т.н. Г.М. Ружников.

– РФФИ проект № 18-51-54001_Вьет_а «Исследование качественных свойств дифференциально-алгебраических уравнений и построение численных алгоритмов для их решения», руководитель проекта – г.н.с. лаб. 1.1 Дифференциальных уравнений и управляемых систем д.ф.-м.н. М.В. Булатов.

В настоящее время ИДСТУ СО РАН имеет 14 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).



3. Прием иностранных ученых

Имя	Дата рождения	Страна	Организация, должность	Дата визита	Цель визита
Сунг Вук Бэйк (Sung Wook Baik)	16.05.1963	Республика Корея	Университет Седжонг, профессор, директор Школы компьютерных наук; президент Научно-исследовательского и инновационного центра	3 августа 2019 г.	Обсуждение возможных совместных научных исследований и проектов в области искусственного интеллекта

4. Проведение международных конференций

- 8-я Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ-2019 (8th International Conference on Systems Analysis and Information Technologies), 8–14 июля 2019 года, г. Иркутск – Байкал, ИДСТУ СО РАН, ФИЦ ИУ РАН.
- 1st International Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments, ICCS-DE 2019, 9 июля 2019 года, г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН.
- 2nd Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems, ITAMS 2019, 20 сентября 2019 года, г. Иркутск, ИДСТУ СО РАН.

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

Членство в международных научных организациях:

- Mathematical Optimization Society (MOS) – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский;
 - Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM) – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский;
 - Mongolian Mathematical Society – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский;
 - The International Physics and Control Society (IPACS) – д.ф.-м.н. В.Д. Иртегов;
 - Association for Computing Machinery (ACM) – к.т.н. А.Ю. Юрин;
 - 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 – почетный профессор Национального университета Монголии.
- Д.т.н. А.Ф. Берман – приглашенный 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 2019 г.***

- «Journal of Global Optimization» (Springer) – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский (приглашенный редактор);
- «International Journal of Artificial Intelligence» – к.ф.-м.н. И.Л. Васильев (приглашенный редактор);
- «Yugoslav Journal of Operations Research» – к.ф.-м.н. А.В. Орлов (приглашенный редактор).



ПЕРЕЧЕНЬ ПУБЛИКАЦИЙ И ПОЛУЧЕННЫХ ПАТЕНТОВ

Перечень публикаций и полученных патентов

Монографии

1. Дородных Н.О., Юрин А.Ю. Технология создания продукционных экспертных систем на основе модельных трансформаций. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2019. 144 с.
2. Стрекаловский А.С., Орлов А.В. Линейные и квадратично-линейные задачи двухуровневой оптимизации. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2019. 262 с.

Статьи в российских журналах

3. Beley E., Semenov A. On Propositional Encoding of Distinction Property in Finite Sets // Bulletin of Irkutsk State University-Series Mathematics. 2019. Vol. 28. P. 3-20.
4. Bulatov M.V., Chistyakov V.F. The Index and Split Forms of Linear Differential-Algebraic Equations // Bulletin of Irkutsk State University-Series Mathematics. 2019. Vol. 28. P. 21-35.
5. Dorokhov A.E., Martynenko A.P., Martynenko F.A., Radzhabov A.E. The contribution of the scalar meson to the lamb shift of muonic hydrogen // Письма в журнал «Физика элементарных частиц и атомного ядра». 2019. Т. 16, № 5 (224). С. 389.
6. Kosov A.A., Semenov E.I. Construction of exact solutions and analysis of stability of complex systems by reduction to ordinary differential equations with power nonlinearities // Журнал Средневолжского матем. об-ва. 2019. Т. 21, № 1. С. 60-69.
7. Kosov A.A., Semenov E.I., Tirsikh V.V. On Exact Multidimensional Solutions of a Nonlinear System of First Order Partial Differential Equations // Bulletin of Irkutsk State University-Series Mathematics. 2019. Vol. 28. P. 53-68.
8. Kosov A.A., Semenov E.I., Tirsikh V.V. Multidimensional exact solutions of a system of nonlinear Boussinesq type equations // Bulletin of Irkutsk State University-Series Mathematics. 2019. Vol. 30. P. 114-124.
9. Александров А.Ю., Антошкина Л.А., Афиногентова Е.В., Андреев А.С., Башмаков И.Г., Вельмисов П.А., Гринес В.З., Десяев Е.В., Дружинина О.В., Егорова Д.К., Жабко А.П., Жалнин Р.В., Лизина Е.А., Камачкин А.М., Косов А.А. и др. Памяти Владимира Николаевича Щенникова // Журнал Средневолжского математического общества. 2019. Т. 21, № 2. С. 269-273.
10. Аникин А.С., Горнов А.Ю. и др. Алгоритмы локальной минимизации силового поля для трехмерного представления макромолекул // Журнал вычисл. математики и матем. физики. 2019. Т. 59, № 12. С. 2060-2076.
11. Антонов И.А., Федоров Р.К., Башалханов И.А. Анализ пространственного распределения поселений рыжих лесных муравьев в Байкальском регионе // Журнал Сибирского федерального ун-та. Сер. Биология. 2019. Т. 12, № 4. С. 385-397.
12. Беляев Б.Б., Бычков И.В., Дружинин Э.И., Ульянов С.А. Расчет программных управлений, не порождающий сингулярных состояний гиросистемы. II // Известия РАН. Теория и системы управления. 2019. № 3. С. 164-176.
13. Бержинский Ю.А., Ордынская А.П., Бержинская Л.П., Горнов А.Ю., Финкельштейн Е.А. Анализ механизма перехода в предельное состояние жилых домов серии 111 при Спитакском землетрясении 1988 г. // Geodynamics & Tectonophysics. 2019. Т. 10, № 3. С. 715-730.



14. Берман А.Ф., Николайчук О.А., Юрин А.Ю., Павлов А.И. Принципы информационной технологии решения междисциплинарных задач обеспечения техногенной безопасности на основе самоорганизации // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 2 (14). С. 5-15.
15. Ботороева М.Н., Будникова О.С., Соловарова Л.С. О выборе краевых условий для дифференциально-алгебраических уравнений второго порядка // Вестник Бурятского гос. ун-та. Математика, информатика. 2019. № 3. С. 32-41.
16. Булатов М.В., Линь В.Х., Соловарова Л.С. О блочных разностных схемах высокого порядка для жестких линейных дифференциально-алгебраических уравнений // Журнал вычисл. математики и матем. физики. 2019. Т. 59, № 7. С. 1100-1107.
17. Бычков И.В., Опарин Г.А., Богданова В.Г., Пашинин А.А. Организация управления научными вычислениями в пакете прикладных микросервисов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. № 8. С. 121-132.
18. Бычков И.В., Ружников Г.М., Федоров Р.К., Шумилов А.С. Выполнение JavaScript композиций WPS-сервисов в распределенной гетерогенной среде // Вычислительные технологии. 2019. Т. 24, № 3. С. 44-48.
19. Ватутин Э.И., Бельшев А.Д., Заикин О.С., Никитина Н.Н., Манзюк М.О. Исследование свойств обобщенных симметрий в диагональных латинских квадратах с использованием добровольных распределенных вычислений // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. 2019. Т. 3, № 2. С. 39-51.
20. Ватутин Э.И., Манзюк М.О., Титов В.С., Кочемазов С.Е., Бельшев А.Д., Никитина Н.Н. Классификация комбинаторных структур из диагональных латинских квадратов порядка 1-8 на множестве отношения ортогональности // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. 2019. Т. 3, № 1. С. 94-100.
21. Воскобойников М.Л., Федоров Р.К., Ружников Г.М. Автоматизация вызовов Web-сервисов с помощью мобильного устройства» в журнале // Вестник Бурятского гос. ун-та. Математика, информатика. 2019. № 2. С. 83-94.
22. Грибанова И.А., Семенов А.А. Об аргументации отсутствия свойств случайного оракула у некоторых криптографических хеш-функций // Прикладная дискретная математика. Приложение. 2019. № 12. С. 95-98.
23. Давыдов А.В., Ларионов А.А., Черкашин Е.А. Метод трансляции первопорядковых логических формул в позитивно-образованные формулы // Программные продукты и системы. 2019. Т. 32, № 4. С. 197-206.
24. Данеев А.В., Русанов В.А., Русанов М.В., Сизых В.Н. К оптимизации базиса конфигурационного пространства идентифицированной нелинейной модели динамики крупногабаритной космической конструкции // Известия Самарского научного центра РАН. 2019. Т. 21, № 3. С. 52-62.
25. Дородных Н.О., Николайчук О.А., Юрин А.Ю., Коршунов С.А. Разработка и использование метамоделей для синтеза спецификаций и кодов баз знаний // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 2 (14). С. 26-39.
26. Дородных Н.О., Юрин А.Ю. A Model-Driven Development Approach for Case Bases Engineering // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. 2019. Т. 3, № 9. С. 179-182.
27. Дружинин Э.И. Расчет программных управлений, не порождающий сингулярных состояний гиросистемы. I // Известия РАН. Теория и системы управления. 2019. № 2. С. 106-116.



28. Иртегов В.Д., Титоренко Т.Н. О стационарных движениях обобщенного волчка Ковалевской и их устойчивости // Известия РАН. Механика твердого тела. 2019. № 1. С. 101-114.
29. Казаков А.Л., Дудакова А.В. Применение онтологического подхода для создания интеллектуальной системы управления на железнодорожном транспорте // Вестник Уральского гос. ун-та путей сообщения. 2019. № 3 (43). С. 33-41.
30. Казаков А.Л., Лемперт А.А., Ле К.М. О задачах построения многократных покрытий и упаковок в двумерном неевклидовом пространстве // Управление большими системами. 2019. № 81. С. 6-25.
31. Казаков А.Л., Лемперт А.А., Столбов А.Б., Санеев Б.Г., Попов С. П. Принципы создания технологии моделирования и прогнозирования развития региональных топливно-энергетических комплексов России и Монголии с учетом энергетического сотрудничества двух стран // Программные системы: теория и приложения. 2019. Т. 10, № 4(43). С. 3–24.
32. Казаков А.Л., Нефедова О.А., Спевак Л.Ф. Решение задач об инициировании тепловой волны для нелинейного уравнения теплопроводности методом граничных элементов // Журнал вычисл. математики и матем. физики. 2019. Т. 59, № 6. С. 1047-1062.
33. Казаков А.Л., Павидис М.М. Об одном подходе к моделированию работы сортировочных станций // Транспорт Урала. 2019. № 2. С. 29-35.
34. Кондратьев В.С., Семенов А.А., Заикин О.С. Дубликаты конфликтных ограничений в CDCL-выводе и их использование в задачах обращения некоторых криптографических функций // Вычисл. методы и программирование: новые вычисл. технологии. 2019. Т. 20. С. 54-66.
35. Косов А.А., Козлов М.В. Об асимптотической устойчивости однородных сингулярных систем с переключениями // Автоматика и телемеханика. 2019. № 3. С. 45–54.
36. Косов А.А., Семенов Э.И. О точных решениях уравнения нелинейной диффузии // Сибирский математический журнал. 2019. Т. 60, № 1. С. 123-140.
37. Косов А.А., Семенов Э.И. Редукции и точные решения нелинейных эллиптических систем специального вида // Дифференциальные уравнения. 2019. Т. 55, № 6. С. 840-847.
38. Косов А.А., Семенов Э.И. Функция Ламберта и точные решения нелинейных параболических уравнений // Известия высших учебных заведений. Математика. 2019. № 8. С. 13-20.
39. Косов А.А., Щенников А.В., Щенникова Е.В., Жалнин Р.В., Шаманаев П.А. Обзор работ В. Н. Щенникова по исследованию конвергенции нелинейных почти периодических систем методом сравнения // Журнал СВМО. 2019. Т. 21, №2. С. 175–186.
40. Лакеев А.В., Линке Ю.Э., Русанов В.А. К дифференциальной реализации билинейной системы второго порядка в гильбертовом пространстве // Сибирский журнал индустриальной математики. 2019. Т. XXII, № 2. С. 27-36.
41. Лакеев А.В., Линке Ю.Э., Русанов В.А. К реализации полилинейного регулятора нестационарной гиперболической системы // Вестник Бурятского гос. ун-та. сер. Математика и информатика. 2019. № 3. С. 3-16.
42. Лебедев П.Д., Казаков А.Л. Построение оптимальных покрытий выпуклых плоских фигур кругами различного радиуса // Труды Ин-та математики и механики УрО РАН. 2019. Т. 25, № 2. С. 137-148.
43. Лемперт А.А., Павидис М.М., Жарков М.Л. Моделирование зарубежных сортировочных станций на основе теории массового обслуживания // Вестник Уральского гос. ун-та путей сообщения. 2019. № 3 (43). С. 24-32.



44. Марьян А.Ю., Малков Ф.С., Аталян А.В. Современные подходы и методы диагностики фетального алкогольного синдрома и фетального алкогольного спектра нарушений // Современные проблемы науки и образования. 2019. № 4. С. 146.
45. Никитин В.М., Абасов Н.В., Бычков И.В., Осипчук Е.Н. Уровенный режим озера Байкал: проблемы и противоречия // География и природные ресурсы. № 4 (158). С. 74-83.
46. Новиков М.А. Об устойчивости стационарных движений транспортных систем при существовании частного интеграла Гесса // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 4(64). С. 114-122.
47. Опарин Г.А., Богданова В.Г., Горский С.А. Конструктивный подход к проверке истинности квантифицированных булевых формул в решателе HPC2QALL // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 3 (15). С. 91-101.
48. Опарин Г.А., Богданова В.Г., Пашинин А.А. Управление конвейерно-параллельными вычислениями при решении задач качественного исследования двоичных динамических систем на основе метода булевых ограничений // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 3 (15). С. 79-90.
49. Русанов В.А., Данеев А.В., Линке Ю.Э. К оптимизации процесса юстировки модели дифференциальной реализации многомерной системы второго порядка // Дифференциальные уравнения. 2019. Т. 55, № 10. С. 1432-1438.
50. Свинин А.К., Свинина С.В. Об устойчивости одной разностной схемы для квазилинейной дифференциально-алгебраической системы уравнений в частных производных индекса $(K, 0)$ // Журнал вычисл. математики и матем. физики. 2019. Т. 59, № 4. С. 549-565.
51. Свинин А.К., Свинина С.В. О некоторых обобщениях суммы степеней натуральных чисел // Известия высших учебных заведений. Математика. 2019. № 8. С. 31-44.
52. Свинина С.В. Об одной квазилинейной дифференциально-алгебраической системе уравнений в частных производных // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2019. Т. 59, № 11. С. 1856-1871.
53. Свинина С.В., Свинин А.К. О существовании решения некоторых смешанных задач для линейных дифференциально-алгебраических систем уравнений в частных производных // Известия высших учебных заведений. Математика. 2019. № 4. С. 73-84.
54. Свинина С.В., Свинин А.К. Об одной начально-краевой задаче для полулинейной дифференциально-алгебраической системы уравнений в частных производных индекса $(1,0)$ // Известия высших учебных заведений. Математика. 2019. № 5. С. 70-82.
55. Семенов А.А., Антонов К.В., Отпущенников И.В. Поиск линеаризующих множеств в алгебраическом криптоанализе как задача псевдобулевой оптимизации // Прикладная дискретная математика. Приложение. 2019. № 12. С. 130-134.
56. Сороковиков П.С. Модификации алгоритмов нелокального одномерного поиска, основанные на условии Гёльдера // Вестник Бурятского гос. ун-та. Математика, информатика. 2019. № 4. С. 40-56.
57. Старицын М.В., Погодаев Н.И. Об одном классе задач оптимального импульсного управления уравнением неразрывности // Труды Ин-та математики и механики УрО РАН. 2019. Т. 25, № 1. С. 229-244.
58. Стрекаловский А.С. Новые условия глобальной оптимальности в задаче с D.C. ограничениями // Труды Ин-та математики и механики УрО РАН. 2019. Т. 25, №1. С. 245-261.



59. Толстоногов А.А. Локальные условия существования решений процессов выметания // Математический сборник. 2019. Т. 210, № 9. С. 107-128.
60. Толстоногов А.А. Плотности мер как альтернатива производных для измеримых включений // Функциональный анализ и его приложения. 2019. Т. 53, № 4. С. 52-62.
61. Тятюшкин А.И. Многометодная оптимизация управления в сложных прикладных задачах // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2019. Т. 59, № 2. С. 235-246.
62. Феоктистов А.Г., Башарина О.Ю. Модели прогнозирования времени выполнения схем решения задач в гетерогенной распределенной вычислительной среде // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 11. С. 102-108.
63. Феоктистов А.Г., Горский С.А., Сидоров И.А., Костромин Р.О., Фереферов Е.С., Бычков И.В. Непрерывная интеграция функционального наполнения распределенных пакетов прикладных программ в ORLANDO TOOLS // Тр. Ин-та системного программирования РАН. 2019. Т. 31, № 2. С. 83-96.
64. Чайкин С.В. Множество относительных равновесий стационарного орбитального несимметричного гиростата // Сибирский журнал индустриальной математики. 2019. Т. 22, № 1(77). С. 116-121.
65. Чистяков В.Ф. Об улучшении оценок влияния возмущений на решения линейных дифференциально-алгебраических уравнений // Дифференциальные уравнения. 2019. Т. 55, № 2. С. 273-276.
66. Юрин А.Ю. Прототипирование прецедентных баз знаний на основе модельных трансформаций // Образовательные ресурсы и технологии. 2019. № 2 (27). С. 45-58.

Статьи в зарубежных и переводных журналах

67. Edelev A., Beresneva N., Gorsky S., Sidorov I., Feoktistov A. Representation of Subject Knowledge from the Field of Vulnerability Analysis of Energy Systems in Distributed Applied Software Packages // Advances in Intelligent Systems Research: Proc. of the VIth Intern. Workshop «Critical Infrastructures: Contingency Management, Intelligent, Agent-Based, Cloud Computing and Cyber Security» (IWCI 2019, Baikal, March 17-24, 2019). 2019. Vol. 169. P. 184-188.
68. Avella P., Boccia M., Viglione S., Vasilyev I. A Local Branching MIP Heuristic for a Real-World Curriculum-Based Course Timetabling Problem // Communications in Computer and Information Science: Proc. 18th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2019, Ekaterinburg, July 8-12, 2019). 2019. Vol. 1090. P. 438-451.
69. Avramenko Yu.V., Fedorov R.K. The Method of Extracting the Contours of Objects from Satellite Images // CEUR Workshop Proceedings: Proc. 2nd Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2019). 2019. Vol. 2463. P. 70-75.
70. Avramenko Yu.V., Fedorov R.K., Firsova A.D. Diatom Analysis Using SOQL Language Interpreter // Information Technologies in the Research of Biodiversity. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. 2019. P. 169-173.
71. Balandin A.L. Tomographic reconstruction of the Beltrami fields // Journal of Mathematical Imaging and Vision. 2019. Vol. 62. P. 1-9.
72. Banskchikov A.V. Obtaining and Analysis of the Necessary Conditions of Stability of Orbital Gyrostat by Means of Computer Algebra // Lecture Notes in Computer Science. 2019. Vol. 11661. P. 57-66.
73. Barakhtenko E., Sokolov D., Edelev A., Gorsky S. Vulnerability Analysis of Intelligent Integrated Energy Systems // Advances in Intelligent Systems Research: Proc. of the VIth Intern. Workshop «Critical Infrastructures: Contingency Management, Intelligent, Agent-Based, Cloud Computing and Cyber Security» (IWCI 2019, Baikal, March 17-24, 2019). 2019. Vol. 166. P. 74-76.



74. Barakhtenko E.A., Sokolov D.V., Edelev A.V., Gorsky S.A. Research on the Resilience of the Intelligent Integrated Energy Systems // CEUR-WS Proceedings: Proc. of the 1st Intern. Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (ICCS-DE'2019, Irkutsk, July 8-9, 2019). 2019. Vol. 2430. P. 6-14.
75. Barkova M. On generating nonconvex optimization test problems // Lecture Notes in Computer Science: Proc. 18th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2019, Ekaterinburg, July 8–12, 2019). 2019. Vol. 11548 LNCS. P. 21-33.
76. Batbileg S., Tungalag N., Anikin A., Gornov A., Finkelstein E. A global optimization algorithm for solving a four-person game // Optimization Letters. 2019. Vol. 13, № 3. P. 587-596.
77. Batuev A.R., Batuev D.A., Beshentsev A.N., Bogdanov V.N., Dashpilov T.B., Korytniy L.M., Tikunov V.S., Fedorov R.K. Atlas information system for providing socio-economic development of the Baikal region // InterCarto, InterGIS. 2019. Vol. 25. P. 66-80.
78. Beklaryan A., Beklaryan L., Gornov A. Solutions of Traveling Wave Type for Korteweg-de Vries-Type System with Polynomial Potential // Communications in Computer and Information Science: Proc. 9th Intern. Conf. on Optimization and Applications (OPTIMA'2018). 2019. Vol. 974. P. 291-305.
79. Belyaev B.B., Bychkov I.V., Druzhinin E.I., Ul'yanov S.A. Calculation of Program Controls Not Generating Singular States of a Gyro System. II // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2019. Vol. 58, № 3. P. 491-502.
80. Berman A.F., Nikolaychuk O.A., Yurin A.Yu. Computer-aided event tree synthesis on the basis of case-based reasoning // Advances in Intelligent Systems and Computing: Proc. of the 3rd Intern. Scientific Conf. on Intelligent Information Technologies for Industry (IITI'18). 2019. Vol. 875. P. 3-12.
81. Berman A.F., Nikolaychuk O.A., Yurin A.Yu. Knowledge structurization and implementation of the self-organization principle in the case of substantiation of conceptual properties for complex technical systems // CEUR Workshop Proceedings: Proc. of 2nd Conf. «Information Technologies: Algorithms, Models, Systems» (ITAMS 2019). 2019. Vol. 2463. P. 93-101.
82. Berzhinsky Yu.A., Ordynskaya A.P., Berzhinskaya L.P., Gornov A.Yu., Finkelstein E.A. Analysis of the mechanism of transition to the limit state of Series 111 residential buildings during the 1988 Spitak earthquake // Geodynamics & Tectonophysics. 2019. Vol. 10, № 3. P. 715–730.
83. Bezyazeev P., Bychkov I., Budnev N., Chernykh D., Kazarina Y., Kostunin D., Kryukov A., Monkhoev R., Shigarov A., Shipilov D. Towards the Baikal open laboratory in astroparticle physics // CEUR Workshop Proceedings: Proc. 3rd Intern. Workshop on Data Life Cycle in Physics. 2019. Vol. 2406. P. 1-6.
84. Bulatov M., Solovarova L. Collocation-variation difference schemes with several collocation points for differential-algebraic equations // Applied Numerical Mathematics. 2019. Vol. 149. P. 153-163.
85. Bulatov M.V., Hadizadeh M., Chistyakova E.V. Construction of implicit multistep methods for solving integral algebraic equations // Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta. Ser. 10. Prikladnaya Matematika, Informatika, Protsessy Upravleniya. 2019. Vol. 15, № 3. P. 310-322.
86. Bulatov M.V., Linh V.H., Solovarova L.S. Block Difference Schemes of High Order for Stiff Linear Differential-Algebraic Equations // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2019. Vol. 59, № 7. P. 1049-1057.
87. Bychkov I., Davydov A., Kenzin M., Maksimkin N., Nagul N., Ul'yanov S. Hierarchical control system design problems for multiple autonomous underwater vehicles // IEEE Intern. Siberian Conf. on Control and Communications (SIBCON-2019, Tomsk, April 18-20, 2019); IEEE. P. 1-6.



88. Bychkov I., Dubenskaya J., Korosteleva E., Kryukov A., Mikhailov A., Nguyen M.-D., Shigarov A. Metadata extraction from raw astroparticle data of TAIGA experiment // CEUR Workshop Proceedings: Proc. 3rd Intern. Workshop on Data Life Cycle in Physics (DLC-2019, Irkutsk, April 2-7, 2019). 2019. Vol. 2406. P. 26-34.
89. Bychkov I., Oparin G., Feoktistov A., Sidorov I., Gorsky S., Kostromin R., Edelev A. Subject-Oriented Computing Environment for Solving Large-Scale Problems of Energy Security Research // Journal of Physics. Conference Series: Proc. of the Intern. Conf. «Information Technologies in Business and Industry» (Novosibirsk, February 18-20, 2019). 2019. Vol. 1368. P. 052030-1-052030-12.
90. Bychkov I.V., Kenzin M.Y., Maksimkin N.N. Two-level evolutionary approach to persistent surveillance for multiple underwater vehicles with energy constraints // SPIIRAS Proceedings. 2019. Vol. 18, № 2. P. 267-301.
91. Bychkov I.V., Oparin G.A., Bogdanova V.G., Pashinin A.A. Intellectual Technology for Computation Control in the Package of Applied Microservices // CEUR-WS Proceedings: Proc. of the 1st Intern. Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (ICCS-DE'2019, Irkutsk, July 8-9, 2019). 2019. Vol. 2430. P. 15-28.
92. Bychkov I.V., Ruzhnikov G.M., Fedorov R.K., Avramenko Yu.V., Shumilov A.S., Shigarov A.O. et al. Technology of Information and Analytical Support for Interdisciplinary Environmental Studies in the Baikal Region // Information Technologies in the Research of Biodiversity. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. 2019. P. 116-124.
93. Bychkov I.V., Ruzhnikov G.M., Hmel'nov A.E., Fedorov R.K., Madzhara T.I., Popova A.K. Digital Monitoring of Lake Baikal and its Coastal Area // CEUR Workshop Proceedings: Proc. 2nd Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2019). 2019. Vol. 2463. P. 13-23.
94. Bychkov I.V., Ruzhnikov G.M., Paramonov V.V., Mikhailov A.A., Fedorov R.K., Klyuchevskii A.V., Dem'yanovich V.M., Demberel S. The Framework of the Digital Environment for Analysing of Seismic Hazards of Lithosphere Blocks in Baikal-Mongolian Region // CEUR Workshop Proceedings: Proc. 2nd Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2019). 2019. Vol. 2463. P. 102-111.
95. Chaikin S.V. The Set of Relative Equilibria of a Stationary Orbital Asymmetric Gyrostat // Journal of Applied and Industrial Mathematics. 2019. Vol. 13, № 1. P. 30-35.
96. Cherkashin E., Shigarov A., Malkov F., Morozov A. An Instrumental Environment for Metagenomic Analysis // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. 2019. P. 151-158.
97. Chistyakov V.F. Improved Estimates of the Effect of Perturbations on the Solutions of Linear Differential-Algebraic Equations // Differential Equations. 2019. Vol. 55, № 2. P. 279-282.
98. Chistyakova E.V., Chistyakov V.F. Solution of differential algebraic equations with the Fredholm operator by the least squares method // Applied Numerical Mathematics. 2019. Vol. 149. P. 43-51.
99. Davydov A., Larionov A., Nagul N. PCF-based formalization of the parallel composition of automata // CEUR Workshop Proceedings: Proc. of the 1st Intern. Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (ICCS-DE'2019, Irkutsk, July 8-9, 2019). 2019. Vol. 2430. P. 29-41.
100. Dorodnykh N.O., Yurin A.Yu. Software Conception for Semantic Interpretation of Spreadsheet Data // CEUR Workshop Proceedings: Proc. of 2nd Intern. Conf. «Information Technologies: Algorithms, Models, Systems» (ITAMS 2019). 2019. Vol. 2463. P. 76-83.
101. Dorokhov A.E., Martynenko A.P., Martynenko F.A., Radzhabov A.E. The Contribution of the Sigma-Meson to the Lamb Shift of Muonic Hydrogen // Physics of Particles and Nuclei Letters. 2019. Vol. 16, № 5. P. 520-523.



102. Druzhinin E.I. Calculation of Program Control Not Generating Singularities in Gyrosystems // *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2019. Vol. 58, № 2. P. 260-269.
103. Dykhta V., Sorokin S. Feedback minimum principle for optimal control problems in discrete-time systems and its applications // *Lecture Notes in Computer Science: Proc. 18th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2019, Ekaterinburg, July 8–12, 2019)*. 2019. Vol. 11548. P. 449-460.
104. Edelev A.V., Karamov D.N., Sidorov I.A., Binh D.V., Nam N.H., Anh N.H., Duy P.V., Hanh P.T. Modeling Energy Systems of Vietnam with Integration of Renewable Power Sources // *CEUR-WS Proceedings: Proc. of the 1st Intern. Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (ICCS-DE'2019, Irkutsk, July 8-9, 2019)*. 2019. Vol. 2430. P. 42-50.
105. Enkhbat R., Batbileg S., Anikin A., Tungalag N., Gornov A. A Note on Four-Players Triple Game // *Contributions to Game Theory and Management*. 2019. Vol. 12. P. 100–112.
106. Farahani M., Hadizadeh M., Bulatov M.V., Chistyakova E.V. Adaptive iterative regularization schemes for two-dimensional integral-algebraic systems // *Mathematical Methods in the Applied Sciences*. 2019. Vol. 42, № 18. P. 6635-6647.
107. Fedorov R.K. Building Service Composition based on Statistics of the Services Use // *CEUR Workshop Proceedings: Proc. 2nd Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2019)*. 2019. Vol. 2463. P. 40-46.
108. Feoktistov A., Gorsky S., Sidorov I., Kostromin R., Edelev A., Massel L. Orlando Tools: Energy Research Application Development through Convergence of Grid and Cloud Computing // *Communications in Computer and Information Science: Proc. of the 4th Russian Supercomputing Days (RuSCDays 2018, Moscow, September 24-25, 2018)*. 2019. Vol. 965. P. 289-300.
109. Feoktistov A., Kostromin R., Sidorov I., Gorsky S., Oparin G. Multi-Agent Algorithm for Re-Allocating Grid-Resources and Improving Fault-Tolerance of Problem-Solving Processes // *Procedia Computer Science: Proc. of the 13th Intern. Symposium on Intelligent Systems (INTELS'18, St. Petersburg, October 22-24, 2018)*. 2019. Vol. 150. P. 171-178.
110. Feoktistov A., Sidorov I., Kostromin R., Oparin G., Basharina O. Methods and Tools for Evaluating the Reliability of Information and Computation Processes in Grid and Cloud Computing Systems // *CEUR-WS Proceedings: Proc. of the 1st Intern. Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (ICCS-DE'2019, Irkutsk, July 8-9, 2019)*. 2019. Vol. 2430. P. 60-69.
111. Feoktistov A.G., Kostromin R.O., Fereferov E.S., Tchernykh A., Basharina O.Yu., Dmitriev V.I., Kurzybova Ya.V. Toolkit for Simulation Modeling of Queue Systems in Grid // *CEUR-WS Proceedings: Proc. of the 1st Intern. Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (ICCS-DE 2019, Irkutsk, July 8-9, 2019)*. 2019. Vol. 2430. P. 51-59.
112. Fereferov E., Feoktistov A., Bychkov I. Framework for preparing subject data in testing modules of scientific applications // *CEUR-WS Proceedings: Proc. of the 1st Intern. Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (ICCS-DE'2019, Irkutsk, July 8-9, 2019)*. Vol. 2430. P. 70-77.
113. Fereferov E.S., Vetrov A.A., Hmelnov A.E., Berdnikova N.E. Development of Information System for Support Archaeological Research Based on Declarative Specifications // *CEUR Workshop Proceedings: Proc. 2nd Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2019)*. 2019. Vol. 2463. P. 102-111.
114. Finogenko I.A. Method of Limiting Differential Inclusions for Nonautonomous Discontinuous Systems with Delay // *Proc. of the Steklov Institute of Mathematics*. Vol. 305. Supp1.1. P. S65-S74.



115. Gachenko A., Hmelnov A. Development of complex GIS Monitoring of the Angara River // Information Technologies in the Research of Biodiversity. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. 2019. P. 181-186.
116. Gagarinova O.V., Sorokovoy A., Belozertseva I.A., Emelyanova N.V., Fedorov R. Environmental Aspects of Urbanized Territories in the Baikal Region // Information Technologies in the Research of Biodiversity. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. 2019. P. 193-199.
117. Gornov A., Finkelstein E., Zarodnyuk T. Algorithm of Uniform Filling of Nonlinear Dynamic System Reachable Set Based on Maximin Problem Solution // Optimization Letters. 2019. Vol. 13, Issue 3. P. 633–643.
118. Gornov A., Massel L., Sorokovikov P., Anikin A., Zarodnyuk T. The approach to solving the problem of legacy systems on the examples of INTEC and OPTCON software // Advances in Intelligent Systems Research: Proc. of the VI Intern. Workshop «Critical Infrastructures: Contingency Management, Intelligent, Agent-Based, Cloud Computing and Cyber Security» (IWCI 2019, Baikalsk, March 17-24, 2019). 2019. Vol. 169. P. 229–233.
119. Gornov A., Sorokovikov P., Zarodnyuk T. Computational technology for global search based on modified algorithm of the univariate nonlocal optimization // Advances in Intelligent Systems Research: Proc. of the VI Intern. Workshop «Critical Infrastructures: Contingency Management, Intelligent, Agent-Based, Cloud Computing and Cyber Security» (IWCI 2019, Baikalsk, March 17-24, 2019). 2019. Vol. 169. P. 189–193.
120. Gornov A., Zarodnyuk T., Anikin A., Sorokovikov P. The Stochastic Coverings Algorithm for Solving Applied Optimal Control Problems // Communications in Computer and Information Science: Proc. 18th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2019, Ekaterinburg, July 8–12, 2019). 2019. Vol. 1090. P. 486-496.
121. Gornov A.Yu., Zarodnyuk T.S., Anikin A.S. The computational technique for nonlinear nonconvex optimal control problems based on modified gully method // DEStech transactions on Computer Science and Engineering: Proc. IX Intern. Conf. on Optimization and Applications (OPTIMA 2018). 2019. P. 152–162.
122. Gornov A.Yu., Zarodnyuk T.S., Anikin A.S., Finkelstein E.A. Extension technology and extrema selections in a stochastic multistart algorithm for optimal control problems // Journal of Global Optimization. 2019.
123. Granin N.G., Aslamov I.A., Kozlov V.V., Makarov M. M., Kirillin G., McGinnis D.F., Kucher K.M., Blinov V.V., Ivanov V.G., Mizandrontsev I.B., Zhdanov A.A., Anikin A.S. et al. Methane hydrate emergence from Lake Baikal: direct observations, modelling, and hydrate footprints in seasonal ice cover // Scientific Reports. 2019. Vol. 9.
124. Gruzdeva T.V., Enkhbat R., Tungalag N. Fractional programming approach to a cost minimization problem in electricity market // Yugoslav Journal of Operations Research. 2019. Vol. 29, № 1. P. 43-50.
125. Guminov S., Gasnikov A., Anikin A., Gornov A. A universal modification of the linear coupling method // Optimization Methods and Software. 2019. Vol. 34, № 3. P. 560-577.
126. Hmelnov A., Li T. On the use of specifications of binary file formats for analysis and processing of binary scientific data // CEUR Workshop Proceedings: Proc. 3rd Intern. Workshop on Data Life Cycle in Physics (DLC-2019, Irkutsk, April 2-7, 2019). 2019. Vol. 2406. P. 63-77.
127. Hmelnov A.E., Fereferov E.S. Development of cross-platform problem-oriented systems using specifications of database applications // CEUR Workshop Proceedings: Proc. 2nd Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2019). 2019. Vol. 2463. P. 59-69.



128. Hmel'nov A.E., Gachenko A.S., Mihailov A.A., Minaev V.V., Minaev A.V. Estimation of Gaseous Interchange in the Irkutsk Reservoir // CEUR Workshop Proceedings: Proc. of the All-Russian Conf. «Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes» (SDM-2019, Berdsk, August 26-30, 2019). 2019. Vol. 2534. P. 219-223.
129. Ignatiev A., Morgado A., Weissenbacher G., Marques-Silva J. Model-Based Diagnosis of Multiple Observations // IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence: Proc. 8th Intern. Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2019). 2019. P. 1108-1115.
130. Ignatiev A., Narodytska N., Marques-Silva J. Abduction-Based Explanations for Machine Learning Models // AAAI: 33rd AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2019. P. 1511-1519.
131. Itregov V.D., Titorenko T.N. About Stationary Movements of the Generalized Kovalevskaya Top and Their Stability // Mechanics of Solids. 2019. Vol. 54, № 1. P. 81-91.
132. Karlovets D., Zhevlakov A. Intrinsic multipole moments of non-Gaussian wave packets // Physical Review A. 2019. Vol. 99, № 2. P. 022103-1–022103-6.
133. Kazakov A., Lempert A., Le Q.M. On the Thinnest Covering of Fixed Size Containers with Non-euclidean Metric by Incongruent Circles // Communications in Computer and Information Science: Proc. 18th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2019, Ekaterinburg, July 8–12, 2019). 2019. P. 195-206.
134. Kazakov A.L. Construction and study of exact solutions with a free boundary to the nonlinear heat equation with a source // Siberian Advances in Mathematics. 2019. № 2.
135. Kazakov A.L. On Exact Solutions to a Heat Wave Propagation Boundary-Value Problem for a Nonlinear Heat Equation // Siberian Electronic Mathematical Reports-Sibirskie Elektronnyye Matematicheskie Izvestiya. 2019. Vol. 16. P. 1057-1068.
136. Kazakov A.L., Kuznetsov P.A., Lempert A.A., Spevak L.F. Analytical and numerical solutions to the problem on a heat wave initiating for the nonlinear heat equation with a source // Journal of Physics: Conference series. 2019. Vol. 1268. P. 1-7.
137. Kazakov A.L., Kuznetsov P.A., Spevak L.F. Analytical and Numerical Construction of Heat Wave Type Solutions to the Nonlinear Heat Equation with a Source // Journal of Mathematical Sciences (United States). 2019. Vol. 239, № 2. P. 111-122.
138. Kazakov A.L., Lempert A.A., Ta T.T. On the Algorithm for Equal Balls Packing into a Multi-connected Set // Advances in Intelligent Systems Research. 2019. Vol. 169. P. 216-222.
139. Kazakov A.L., Nefedova O.A., Spevak L.F. Solution of the Problem of Initiating the Heat Wave for a Nonlinear Heat Conduction Equation Using the Boundary Element Method // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2019. Vol. 59, № 6. P. 1015-1029.
140. Kazakov A.L., Spevak L.F. Numerical study of travelling wave type solutions for the nonlinear heat equation // AIP Conference Proceedings: Proc. of the 13th Intern. Conf. on Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures (MRDMS-2019). 2019. Vol. 2176. P. 030006-1–030006-5.
141. Kazakov A.L., Spevak L.F., Lempert A.A., Nefedova O.A. A computational algorithm for constructing a two-dimensional heat wave generated by a non-stationary boundary condition // Journal of Physics: Conference series. 2019. Vol. 1392. P. 1-6.
142. Kenzin M., Bychkov I., Maksimkin N. Autonomous coordination of heterogeneous vehicles for persistent monitoring problem with route and fuel constraints // CEUR Workshop Proceedings: Proc. of 1st Intern. Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (ICCS-DE'2019, Irkutsk, July 8-9, 2019). 2019. Vol. 2430. P. 78-87.
143. Kosov A.A., Kozlov M.V. On Asymptotic Stability of Homogeneous Singular Systems with Switching // Automation and Remote Control. 2019. Vol. 80, № 3. P. 429-436.



144. Kosov A.A., Semenov E.I. Exact solutions of the nonlinear diffusion equation // *Siberian Mathematical Journal*. 2019. Vol. 60, № 1. P. 93-107.
145. Kosov A.A., Semenov E.I. Reductions and Exact Solutions of Nonlinear Elliptic Systems of a Special Form // *Differential Equations*. 2019. Vol. 55, № 6. P. 824-831.
146. Kosov A.A., Semenov E.I. The Lambert Function and Exact Solutions of Nonlinear Parabolic Equations // *Russian Mathematics*. 2019. Vol. 63, № 8. P. 10-16.
147. Kryukov A., Nguyen M.-D., Bychkov I., Mikhailov A., Shigarov A., Dubenskaya J. Distributed data storage for modern astroparticle physics experiments // *CEUR Workshop Proceedings: Proc. 3rd Intern. Workshop on Data Life Cycle in Physics (DLC-2019, Irkutsk, April 2-7, 2019)*. 2019. Vol. 2406. P. 78-83.
148. Lakeyev A.V., Linke Y.E., Rusanov V. On the Differential Realization of a Second-Order Bilinear System in a Hilbert Space // *Journal of Applied and Industrial Mathematics*. 2019. Vol. 13, № 2. P. 261-269.
149. Lebedev P.D., Kazakov A.L. Construction of optimal covers by disks of different radii for convex planar sets // *Trudy Instituta Matematiki i Mekhaniki URO RAN*. 2019. Vol. 25, № 2. P. 137-148.
150. Lempert A., Kazakov A., Le Q. Mung. On reserve and double covering problems for the sets with non-Euclidean metrics // *Yugoslav Journal of Operations Research*. 2019. Vol. 29, № 1. P. 69-79.
151. Lomov V.P., Shaydurova A.V. Using Magnus Expansion to Calculate the Neutrino Survival Probability // *Physics of Particles and Nuclei Letters*. 2019. Vol. 16, № 6. P. 569-577.
152. Luca F., Frontczak R., Svinin A.K., Svinina S.V., Ohtsuka H., Seiffert H.J., Abel U., Kushnirevych V. Advanced Problems and Solutions // *Fibonacci Quarterly*. 2019. Vol. 57, № 1. P. 89-95.
153. Maltugueva N., Pogodaev N., Samsonyuk O. Optimality conditions and numerical algorithms for hybrid control systems // *Lecture Notes in Computer Science: Proc. 18th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2019, Ekaterinburg, July 8–12, 2019)*. 2019. Vol. 11548. P. 474-488.
154. Markov Y.A., Markova M.A., Gitman D.M., Bondarenko A.I. Parastatistics and Uniquantization // *Russian Physics Journal*. 2019. Vol. 61, № 10. P. 1806-1818.
155. Masone A., Sterle C., Vasilyev I., Ushakov A. A three-stage p-median based exact method for the optimal diversity management problem // *Networks*. 2019. Vol. 74, № 2. P. 174-189.
156. Mencía C., Kullmann O., Ignatiev A., Marques-Silva J. On Computing the Union of MUSes // *Lecture Notes in Computer Science: Proc. of 22nd Intern. Conf. on Theory and Applications of Satisfiability Testing (SAT'2019; Lisbon, Portugal)*. 2019. Vol. 11628. P. 211-221.
157. Morgado A., Ignatiev A., Bonet M., Marques-Silva J., Buss S. DRMaxSAT with MaxHS: First Contact // *Lecture Notes in Computer Science: Proc. of 22nd Intern. Conf. on Theory and Applications of Satisfiability Testing (SAT'2019; Lisbon, Portugal)*. 2019. Vol. 11628. P. 239-249.
158. Narodytska N., Shrotri A., Meel K.S., Ignatiev A., Marques-Silva J. Assessing Heuristic Machine Learning Explanations with Model Counting // *Lecture Notes in Computer Science: Proc. of 22nd Intern. Conf. on Theory and Applications of Satisfiability Testing (SAT'2019; Lisbon, Portugal)*. 2019. Vol. 11628. P. 267-278.
159. Nguyen M.-D., Kryukov A., Dubenskaya J., Korosteleva E., Bychkov I., Mikhailov A., Shigarov A. Data aggregation in the astroparticle physics distributed data storage // *CEUR Workshop Proceedings: Proc. 3rd Intern. Workshop on Data Life Cycle in Physics (DLC-2019, Irkutsk, April 2-7, 2019)*. 2019. Vol. 2406. P. 84-89.



160. Oparin G.A., Bogdanova V.G., Gorsky S.A., Pashinin A.A. The Synthesis of Stabilizing Feedback for Binary Dynamic Systems: A Logical Approach // *Mathematics in Engineering, Science and Aerospace (MESA)*. 2019. Vol. 10, № 3. P. 479-486.
161. Oparin G.A., Bogdanova V.G., Pashinin A.A. Qualitative Analysis of Autonomous Synchronous Binary Dynamic Systems // *Mathematics in Engineering, Science and Aerospace (MESA)*. 2019. Vol. 10, № 3. P. 407-419.
162. Orlov A.V., Gruzdeva T.V. The local and global searches in bilevel problems with a matrix game at the lower level // *Lecture Notes in Computer Science: Proc. 18th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2019, Ekaterinburg, July 8–12, 2019)*. 2019. Vol. 11548. P. 172-18.
163. Paramonov V., Shigarov A., Ruzhnikov G., Cherkashin E. Phonetic String Matching for Languages with Cyrillic Alphabet // *Advances in Intelligent Systems and Computing: Proc. of 39th Intern. Conf. on Information Systems Architecture and Technology (ISAT'2018)*. 2019. Vol. 852. P. 301-311.
164. Paramonov V., Shigarov A., Vetrova V., Mikhailov A. Heuristic algorithm for recovering a physical structure of spreadsheet header // *Advances in Intelligent Systems and Computing: Information Systems Architecture and Technology: Proc. of 40th Anniversary Intern. Conf. on Information Systems Architecture and Technology (ISAT'2019)*. 2019. P. 140-149.
165. Pavlenko A., Semenov A., Ulyantsev V. Evolutionary computation techniques for constructing SAT-based attacks in algebraic cryptanalysis // *Lecture Notes in Computer Science*. 2019. Vol. 11454. P. 237-253.
166. Pavlov A.I., Stolbov A.B. The Application of the Knowledge-Based Systems Development Platform for Creating Scenario Analysis Support Tools // *Advances in Intelligent Systems Research: Proc. of the VIth Intern. Workshop «Critical Infrastructures: Contingency Management, Intelligent, Agent-Based, Cloud Computing and Cyber Security» (IWCI 2019, Baikalsk, March 17-24, 2019)*. 2019. Vol. 169. P. 43-48.
167. Pavlov A.I., Stolbov A.B., Dorofeev A.S. The architecture of the software tool for the agent-based simulation models specification development // *CEUR Workshop Proceedings: Proc. of 2nd Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2019)*. 2019. Vol. 2463. P. 112-121.
168. Pavlov A.I., Stolbov A.B., Dorofeev A.S. The workflow component of the knowledge-based systems development platform // *CEUR Workshop Proceedings: Proc. of 2nd Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2019)*. 2019. Vol. 2463. P. 47-58.
169. Pena D., Tchernykh A., Nesmachnow S., Massobrio R., Feoktistov A., Bychkov I., Radchenko G., Drozdov A., Garichev S. Operating Cost and Quality of Service Optimization for Multi-Vehicle-Type Timetabling for Urban Bus Systems // *Journal of Parallel and Distributed Computing*. 2019. Vol. 133. P. 272-285.
170. Petrenko P.S. Robust Controllability of Nonstationary Differential-Algebraic Equations with Unstructured Uncertainty // *Journal of Mathematical Sciences*. 2019. Vol. 239, Issue 2. P. 123–134.
171. Pogodaev N.I. Bang-Bang Theorem for a Coupled ODE-PDE Control System // *Journal of Mathematical Sciences (United States)*. 2019. Vol. 23, № 2. P. 146-158.
172. Popova A.K. Creation of WPS Services: Case Study of Forest Dynamics Modeling // *CEUR Workshop Proceedings: Proc. 2nd Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2019)*. 2019. Vol. 2463. P. 24-31.



173. Popova A.K., Cherkasin E.A., Vladimirov I.N. Forest Resources of the Baikal Region: Vegetation Dynamics under Anthropogenic Use // Information Technologies in the Research of Biodiversity. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. 2019. P. 96-106.
174. Rusanov V.A., Banshchikov A.V., Daneev A.V., Lakeyev A.V. Maximum entropy principle in the differential second-order realization of a non-stationary bilinear system // Advances in Differential Equations and Control Processes. 2019. Vol. 20, № 2. P. 223-248.
175. Rusanov V.A., Daneev A.V., Lakeev A.V., Linke Yu.É., Vetrov A.A. System-theoretical foundation for identification of dynamic systems. II // Far East Journal of Mathematical Sciences. 2019. Vol. 116, № 1. P. 25-68.
176. Rusanov V.A., Daneev A.V., Linke Yu.É. Adjustment optimization for a model of differential realization of a multidimensional second-order system // Differential Equations. 2019. Vol. 55, №10. P. 1390-1396.
177. Salimov B., Hmelnov A., Berngardt O. The analysis of current neural network configuration used to predict the critical frequency FoF2 of the ionosphere // CEUR Workshop Proceedings: Proc. 3rd Intern. Workshop on Data Life Cycle in Physics (DLC-2019, Irkutsk, April 2-7, 2019). 2019. Vol. 2406. P. 100-105.
178. Samsonyuk O., Sorokin S., Staritsyn M. Feedback necessary optimality conditions for nonlinear measure-driven processes // IFAC-Papers OnLine. 2019. Vol. 52, № 16. P. 132-137.
179. Samsonyuk O., Sorokin S., Staritsyn M. Feedback optimality conditions with weakly invariant functions for nonlinear problems of impulsive control // Lecture Notes in Computer Science: Proc. 18th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2019, Ekaterinburg, July 8–12, 2019). 2019. Vol. 11548. P. 513-526.
180. Samsonyuk O.N., Timoshin S.A. Optimal control problems with states of bounded variation and hysteresis // Journal of Global Optimization. 2019. № 74. P. 565-596.
181. Semenov A. Merging Variables: One Technique of Search in Pseudo-Boolean Optimization // Communications in Computer and Information Science: Proc. 18th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2019, Ekaterinburg, July 8–12, 2019). 2019. Vol. 1090. P. 86-102.
182. Shcheglova A.A., Kononov A.D. Stability of an Interval Family of Differential-Algebraic Equations with Variable Coefficients // Journal of Mathematical Sciences. 2019. Vol. 239, № 2. P. 214-231.
183. Shigarov A., Cherepanov I., Cherkashin E., Dorodnykh N., Khristyuk V., Mikhailov A., Paramonov V., Rozhkov E., Yurin A. Towards End-to-End Transformation of Arbitrary Tables from Untagged Portable Documents (PDF) to Linked Data // CEUR Workshop Proceedings: Proc. 2nd Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2019). 2019. Vol. 2463. P. 1-12.
184. Shigarov A., Khristyuk V., Mikhailov A. TabbyXL: Software platform for rule-based spreadsheet data extraction and transformation // SoftwareX. Vol. 10. P. 100270.
185. Sidorov I.A., Sidorova T.V., Kurzybova Ya.V. Meta-monitoring System for Ensuring a Fault Tolerance of the Intelligent High-Performance Computing Environment // CEUR-WS Proceedings: Proc. of the 1st Intern. Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (ICCS-DE'2019, Irkutsk, July 8-9, 2019). 2019. Vol. 2430. P. 99-107.
186. Sorokin S.P., Staritsyn M.V. Numeric algorithm for optimal impulsive control based on feedback maximum principle // Optimization Letters. 2019. Vol. 13, № 8. P. 1953-1967.
187. Staritsyn M., Sorokin S. On feedback strengthening of the maximum principle for measure differential equations // Journal of Global Optimization. 2019.



188. Staritsyn M.V., Pogodaev N.I. On a class of problems of optimal impulse control for a continuity equation // Trudy Instituta Matematiki i Mekhaniki URO RAN. 2019. Vol. 25, № 1. P. 229-244.
189. Stennikov V.A., Edeleva O.A., Fereferov E.S. Optimization of the composition of the structure of heat sources as applied to the problems of the development of heating systems // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 408. P. 012047.
190. Strekalovskiy A. Nonconvex optimization: From global optimality conditions to numerical methods // AIP Conference Proceedings: Proc. of 14th Intern. Global Optimization Workshop (LeGO'2018; Leiden; Netherlands). 2019. Vol. 2070.
191. Strekalovsky A.S. Global optimality conditions and exact penalization // Optimization Letters. 2019. Vol. 13, № 3. P. 597-615.
192. Strekalovsky A.S. New global optimality conditions in a problem with d.c. constraints // Trudy Instituta Matematiki i Mekhaniki URO RAN. 2019. Vol. 25, № 1. P. 245-261.
193. Svinin A.K. Generalization of the Power Sum Arising in the Theory of Integrable Hierarchies // Journal of Mathematical Sciences (United States). 2019. Vol. 239, № 2. P. 159-171.
194. Svinin A.K., Svinina S.V. On Some Generalizations of Sum of Powers of Natural Numbers // Russian Mathematics. 2019. Vol. 63, № 8. P. 25-37.
195. Svinina S.V. On a Quasi-Linear Partial Differential Algebraic System of Equations // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2019. Vol. 59, № 11. P. 1791-1805.
196. Svinina S.V. Stability of Difference Scheme for a Semilinear Differential Algebraic System of Index $(k, 0)$ // Journal of Mathematical Sciences (United States). 2019. Vol. 239, № 2. P. 172-184.
197. Svinina S.V., Svinin A.K. Existence of solution to some mixed problems for linear differential-algebraic systems of partial differential equations // Russian Mathematics. 2019. Vol. 63, № 4. P. 64-74.
198. Svinina S.V., Svinin A.K. On an initial-boundary value problem for a semilinear differential-algebraic system of partial differential equations of index $(1,0)$ // Russian Mathematics. 2019. Vol. 63, № 5. P. 63-74.
199. Svinina S.V., Svinin A.K. Stability of a Difference Scheme for a Quasi-Linear Partial Differential Algebraic System of Equations of Index $(k, 0)$ // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2019. Vol. 59, № 4. P. 513-528.
200. Tchernykh A., Cortés-Mendoza J.M., Bychkov I., Feoktistov A., Didelot L., Bouvry P., Radchenko G., Borodulin K. Configurable Cost-Quality Optimization of Cloud-based VoIP // Journal of Parallel and Distributed Computing. 2019. Vol. 133. P. 319-336.
201. Tchernykh A., Feoktistov A., Gorsky S., Sidorov I., Kostromin R., Bychkov I., Basharina O., Alexandrov V., Rivera-Rodriguez R. Orlando Tools: Development, Training, and Use of Scalable Applications in Heterogeneous Distributed Computing Environments // Communications in Computer and Information Science: Proc. of the 5th Latin America Conf. on High Performance Computing (CARLA'2018, Bucaramanga, Colombia, September 26-28, 2018). 2019. Vol. 979. P. 265-279.
202. Timoshin S.A., Aiki T. Control of biological models with hysteresis // Systems and Control Letters. 2019. Vol. 128. P. 41-45.
203. Timoshin S.A., Aiki T. Extreme solutions in control of moisture transport in concrete carbonation // Nonlinear Analysis: Real World Applications. 2019. Vol. 47. P. 446-459.
204. Tolstikhin A., Bakhvalov S., Dorofeev A., Bazhenov R. The grey wolf optimizer algorithm modification for enhanced performance of autonomous underwater vehicles in a physical field survey // Advances in Intelligent Systems Research: Proc. 7th Scientific Conf. on Information



Technologies for Intelligent Decision making Support (ITIDS 2019, Ufa, May 28-29, 2019). 2019. P. 184-190.

205. Tolstonogov A.A. Densities of Measures as an Alternative to Derivatives for Measurable Inclusions // Functional Analysis and its Applications. 2019. Vol. 53, № 4. P. 281-290.

206. Tolstonogov A.A. Local conditions for the existence of solutions for sweeping processes // Sbornik Mathematics. 2019. Vol. 210, № 9. P. 1305-1325.

207. Tyatyushkin A.I. Multimethod Optimization of Control in Complicated Applied Problems // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2019. Vol. 59, № 2. P. 224-235.

208. Tyatyushkin A.I., Zarodnyuk T.S., Gornov A.Y. Algorithms for Nonlinear Optimal Control Problems Based on the First and Second Order Necessary Conditions // Journal of Mathematical Sciences (United States). 2019. Vol. 239, № 2. P. 185-196.

209. Ul'yanov S., Maksimkin N. Formation path-following control of multi-AUV systems with adaptation of reference speed // Mathematics in Engineering, Science and Aerospace. 2019. Vol. 10, № 3. P. 487-500.

210. Ushakov A., Vasilyev I. A Computational Comparison of Parallel and Distributed K-median Clustering Algorithms on Large-Scale Image Data // Communications in Computer and Information Science: Proc. 18th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2019, Ekaterinburg, July 8–12, 2019). 2019. Vol. 1090. P. 119-130.

211. Vasilyev I., Ushakov A.V., Maltugueva N., Sforza A. An effective heuristic for large-scale fault-tolerant k-median problem // Soft Computing. 2019. Vol. 23, № 9. P. 2959-2967.

212. Vatutin E., Belyshev A., Kochemazov S., Zaikin O., Nikitina N. Enumeration of Isotopy Classes of Diagonal Latin Squares of Small Order Using Volunteer Computing // Communications in Computer and Information Science. Russian Supercomputing Days 2018. 2019. Vol. 965. P. 578-586.

213. Vatutin E.I., Kochemazov S.E., Zaikin O.S., Manzuk M.O., Nikitina N.N., Titov V.S. Central symmetry properties for diagonal latin squares // İnformasiya texnologiyaları problemləri. 2019. № 2. P. 3-8.

214. Voronin V., Ruzhnikov G. Forest fires in the Baikal region, Eastern Siberia, Russia // International Journal of Ecosystems and Ecology Science-IJEES. 2019. Vol. 8, № 4. P. 795-798.

215. Yurin A.Yu., Berman A.F., Nikolaychuk O.A., Dorodnykh N.O. Knowledge base engineering for industrial safety expertise: A model-driven development approach specialization // Studies in Systems, Decision and Control. 2019. Vol. 199. P. 112-124.

216. Yurin A.Yu., Berman A.F., Nikolaychuk O.A., Kuznetsov K.A. Application of a Case-Based Approach for Tasks of Industrial Safety Inspection // CEUR Workshop Proceedings: Proc. of 2nd Information Technologies: Algorithms, Models, Systems (ITAMS 2019). 2019. Vol. 2463. P. 32-39.

217. Yurin A.Yu., Dorodnykh N.O. Towards ontology engineering based on transformation of conceptual models and spreadsheet data: a case study // Advances in Intelligent Systems and Computing: Proc. of the Conf. «Computational Methods in Systems and Software» (CoMeSySo'2019). 2019. Vol. 1046. P. 233–247.

218. Zaikin O. SAT-based cryptanalysis: from parallel computing to volunteer computing // Communication in Computer and Information Science; Proc. Intern. Conf. Russian supercomputing days. 2019. Vol. 1129. P. 701-712.

219. Zaikin O., Kochemazov S. Black-box optimization in an extended search space for sat solving // Lecture Notes in Computer Science: Proc. 18th Intern. Conf. on Mathematical Optimization Theory and Operations Research (MOTOR 2019, Ekaterinburg, July 8–12, 2019). 2019. Vol. 11548. P. 402-417.

220. Zaikin O., Kochemazov S. On Black-box optimization in Divide-and-Conquer SAT solving // Optimization methods and software. 2019.



221. Zaikin O., Kochemazov S. Using support vector machine to evaluate usefulness of conflict clauses in CDCL derivation // International journal of open information technologies. 2019. Vol. 7, № 12. P. 5-12.
222. Zakirzyanov I., Morgado A., Ignatiev A., Ulyantsev V., Marques-Silva J. Efficient Symmetry Breaking for SAT-Based Minimum DFA Inference // Lecture Notes in Computer Science. 2019. Vol. 11417. P. 159-173.
223. Zhevlakov A.S., Gorchtein M., Blin A.N., Gutsche T., Lyubovitskij V.E. Bounds on rare decays of η and η' mesons from the neutron EDM // Physical Review D. 2019. Vol. 99, № 3. P. 031703-1–031703-6.
224. Zhevlakov A.S., Gutsche T., Lyubovitskij V.E. Updated limits on the CP violating eta pi and eta 'pi pi couplings derived from the neutron EDM // Physical Review D. 2019. Vol. 99, № 11. P. 115004-1–115004-6.
225. Zorkalzev V.I., Edelev A.V., Perzhabinsky S.M., Sidorov I.A., Feoktistov A.G. Studying the Natural Gas Market under Demand Uncertainty Using a Heterogeneous Distributed Computing Environment // Journal of Physics. Conference Series: Proc. of the Intern. Conf. «Information Technologies in Business and Industry» (Novosibirsk, February 18-20, 2019). 2019. Vol. 1333, № 7. P. 072005-1-072005-6.
226. Заикин О.С., Кочемазов С.Е. Использование метода опорных векторов для оценки полезности конфликтных дизъюнктов в CDCL-выводе // International Journal of Open Information Technologies. 2019. Vol. 7, № 12. P. 5-10.

Статьи в сборниках трудов конференций

227. Berman A.F., Dorodnykh N.O., Nikolaychuk O.A., Yurin A.Yu. Event Trees Transformation for Rule Bases Engineering // Proc. of the 42nd Intern. Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO 2019, Opatija, Croatia, May 20-24, 2019). 2019. P. 1138-1143.
228. Berman A.F., Nikolaychuk O.A., Maltugueva G.S., Yurin A.Y. A Method of Experts' Knowledge Approval for Industrial Safety Expertise Task Advances in Intelligence Systems Research // Proc. of VIth Intern. Workshop «Critical Infrastructures: Contingency Management, Intelligent, Agent-Based, Cloud Computing and Cyber Security» IWCI 2019, Baikalsk, March 17-24, 2019). Vol. 169. P. 102-107.
229. Bogdanova V.G., Gorsky S.A. Multiagent Technology for Parallel Implementation of Boolean Constraint Method for Qualitative Analysis of Binary Dynamic Systems // Proc. of the 42nd Intern. Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO 2019, Opatija, Croatia, May 20-24, 2019); IEEE. 2019. P. 1043-1048.
230. Cherkashin E., Shigarov A., Paramonov V., Mikhailov A. Digital Archives Supporting Document Content Inference // Proc. of the 42nd Intern. Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO 2019, Opatija, Croatia, May 20-24, 2019). 2019. P. 1221-1227.
231. Dorodnykh N.O., Yurin A.Yu. Transforming Concept Maps and Spreadsheet Data for Ontology Engineering // Proc. of Intern. Conf. on Applied Internet and Information Technologies (October 3-4, 2019, Zrenjanin, Republic of Serbia). P. 293-300.
232. Dorokhov A.E., Martynenko A.P., Martynenko F.A., Radzhabov A.E. The contribution of one-meson interaction to fine and hyperfine structure of muonic hydrogen // Материалы V Междунар. конф. и молодежной школы «Информ. технологии и нанотехнологии» (Самара, 21-24 мая 2019 г.). 2019. P. 151-153.
233. Feoktistov A., Gorsky S., Sidorov I., Tchernykh A. Continuous Integration in Distributed Applied Software Packages // Proc. of the 42nd Intern. Convention on Information and



Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO 2019, Opatija, Croatia, May 20-24, 2019); IEEE. 2019. P. 1531-1536.

234. Gachenko A.S., Khmel'nov A.E. Technology of 3d relief modeling based on Delaunay triangulation algorithms // Proc. of the V Intern. Scientific Conf. «Regional Problems of Earth Remote Sensing» (RPERS 2018, Krasnoyarsk). 2019. Vol. 75. P. 1-6.

235. Gorbatenko D., Semenov A., Kochemazov S. UnProVET: Using Explicit Constraint Propagation to Construct Attack Graphs // Proc. of the 42nd Intern. Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO 2019, Opatija, Croatia, May 20-24, 2019). 2019. P. 1199-1204.

236. Gribova I.A., Semenov A.A. Parallel guess-and-determine preimage attack with realistic complexity estimation for MD4-40 cryptographic hash function // Материалы XIII Междунар. конф. «Параллельные вычисл. технологии» (ПаВТ'2019, Калининград, 2-4 апреля 2019 г.). 2019. С. 8-18.

237. Hmel'nov A., Mikhailov A. Generation of Code for Reading Data from the Declarative File Format Specifications Written in Language FlexT // Proc. Ivannikov Isp Ras Open Conference (ISP RAS-2018). 2019. P. 23-30.

238. Irtegov V., Titorenko T. On Linear Invariant Manifolds in the Generalized Problem of Motion of a Top in a Magnetic Field // Proc. of 21st Intern. Workshop on Computer Algebra in Scientific Computing (CASC 2019; Moscow). 2019. Vol. 11661. P. 246-261.

239. Kochemazov S., Semenov A. Computational Study of Time Constrained Influence Maximization Problem under Deterministic Linear Threshold Model for Networks with Nonuniform Thresholds // Proc. of the 42nd Intern. Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO 2019, Opatija, Croatia, May 20-24, 2019). 2019. P. 1121-1125.

240. Kostylev D., Tolstikhin A., Ul'yanov S. Development of the complex modelling system for intelligent control algorithms testing // Proc. of the 42nd Intern. Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO 2019, Opatija, Croatia, May 20-24, 2019); IEEE. 2019. P. 943-948.

241. Maltugueva G.S., Yurin A.Yu. Improving case-based reasoning with the aid of multi-criteria and group decision-making methods // Proc. of the 42nd Intern. Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO 2019, Opatija, Croatia, May 20-24, 2019). 2019. P. 1031-1036.

242. Oparin G.A., Bogdanova V.G., Pashinin A.A., Gorsky S.A. Microservice-oriented Approach to Automation of Distributed Scientific Computations // Proc. of the 42nd Intern. Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO 2019, Opatija, Croatia, May 20-24, 2019). 2019. P. 236-241.

243. Paramonov V.V., Shigarov A.O., Ruzhnikov G.M., Mikhailov A.A., Fedorov R.K., Klyuchevskii A.V., Dem'yanovich V.M. Integration of heterogeneous data for Baikal-Mongolian region seismicity study // Proc. of IX Intern. Conf. on Applied Internet and Information Technologies (Zrenjanin, Republic of Serbia, October 3-4, 2019). P. 288-293.

244. Pavlenko A., Semenov A., Ulyantsev V., Zaikin O. Parallel Framework for Evolutionary Black-box Optimization with Application to Algebraic Cryptanalysis // Proc. of the 42nd Intern. Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO 2019, Opatija, Croatia, May 20-24, 2019). 2019. P. 1144-1149.

245. Petrenko P., Samsonyuk O., Staritsyn M. A note on Differential-Algebraic Systems with Impulsive and Hysteresis Phenomena // Proc. of the 9th Intern. Scientific Conf. on Physics and Control (PhysCon2019, 8–11 September, 2019, Innopolis, Russia). P. 206-209.



246. Popova A.K. Online service for modeling forest dynamics on the geoportal // Proc. of IX Intern. Conf. on Applied Internet and Information Technologies (Zrenjanin, Republic of Serbia, October 3-4, 2019). P. 283-288.
247. Samsonyuk O.N. The space-time representation for impulsive control problems with hysteresis // Proc. 9th Intern. Conf. on Optimization and Applications «Communications in Computer and Information Science» (OPTIMA'2018). 2019. Vol. 974. P. 351-366.
248. Shigarov A., Mikhailov A., Khristyuk V., Paramonov V. Software development for rule-based spreadsheet data extraction and transformation // Proc. of the 42nd Intern. Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO 2019, Opatija, Croatia, May 20-24, 2019). 2019. P. 1132-1137.
249. Sorokin S., Staritsyn M. Numerical algorithms for state-linear optimal impulsive control problems based on feedback necessary optimality conditions // Proc. of the 9th Intern. Scientific Conf. on Physics and Control. M.: LLC «Publishing House Pero», 2019. P. 276-280.
250. Staritsyn M., Pogodaev N. Impulsive Relaxation of Continuity Equations and Modeling of Colliding Ensembles // Proc. 9th Intern. Conf. on Optimization and Applications «Communications in Computer and Information Science» (OPTIMA'2018). 2019. Vol. 974. P. 367-381.
251. Ushakov A.V., Vasilyev I.L. A parallel heuristic for a k-medoids clustering problem with unfixed number of clusters // Proc. of the 42nd Intern. Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO 2019, Opatija, Croatia, May 20-24, 2019). 2019. P. 1116-1120.
252. Авраменко Ю.В., Ружников Г.М., Федоров Р.К. Сервисы анализа серии космоснимков для оценки динамики изменения объектов // Тр. Всерос. конф. с междунар. участием «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов» (Бердск. 26-30 августа 2019 г.). 2019. С. 254-259.
253. Авраменко Ю.В., Федоров Р.К. Использование нейросети для сегментации изображений в интерпретаторе SOQL // Тр. Восьмой Междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2019, Иркутск-Листвянка, 8-14 июля 2019 г.). 2019. С. 586-589.
254. Антонов К.В., Семенов А.А. Применение метаэвристических алгоритмов псевдоболевой оптимизации к поиску линейризующих множеств в криптоанализе криптографических генераторов // Синтаксис и семантика логических систем: Материалы 6-й Междунар. школы-семинара (Монголия, Ханх, 11-16 августа 2019 г.). 2019. С. 13-18.
255. Баландин А.Л. Исследование полей Бельтрами методами интегральной геометрии // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 303-306.
256. Банщиков А.В. О необходимых условиях устойчивости орбитального гиростата // Сб. тр. XII Всерос. съезда по фундамент. проблемам теоретической и прикладной механики (Уфа, 19-24 августа 2019 г.). 2019. Т. 1. С. 60-62.
257. Банщиков А.В., Ветров А.А., Данеев А.В., Русанов В.А. К прецизионной юстировке электромагнитного излучателя системы типа ГЛОНАСС // Тр. XIII Всерос. совещания по проблемам управления (ВСПУ-2019, Москва, 17-20 июня 2019 г.). 2019. С. 905-911.
258. Баркова М.В. Об одном методе генерации тестовых задач невыпуклой оптимизации // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 381-384.
259. Батурин В.А., Черемных С.В. Метод сильного улучшения второго порядка для задач оптимального управления многоэтапными процессами // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 204-207.



260. Берман А.Ф., Николайчук О.А., Юрин А.Ю. Принцип самоорганизации для обоснования свойств сложных технических систем // Материалы Восьмой Междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2019, Иркутск–Листвянка, 8–14 июля 2019 г.). М.: ФИЦ ИУ РАН, 2019. С. 265–272.

261. Берман А.Ф., Николайчук О.А., Юрин А.Ю. Обоснования свойств сложных технических систем на основе принципов самоорганизации // Авиационное строительство и транспорт Сибири: Сб. тр. XII Междунар. научн.-практ. конф. (Иркутск, 27 мая–1 июня 2019 г.). Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2019. С. 360–367.

262. Булатов М.В. О подходах к численному решению начальной задачи для дифференциально-алгебраических уравнений // Сб. материалов XXX Крымской осенней матем. школы-симпозиума по спектральным и эволюционным задачам (КРОМШ-2019, пос. Батилиман, 17–29 сентября 2019 г.). Симферополь: Изд-во «Полипринт». 2019. С. 232–233.

263. Булатов М.В., Соловарова Л.С. О блочных методах высокого порядка для линейных дифференциально-алгебраических уравнений // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 115–116.

264. Бычков И.В., Давыдов А.В., Кензин М.Ю., Максимкин Н.Н., Нагул Н.В., Ульянов С.А. Методы и алгоритмы управления многокомпонентными робототехническими комплексами поисково-обследовательского класса в задачах исследования подводной среды // Материалы XII мультikonф. по проблемам управления (МКПУ-2019, Дивноморское, Геленджик, 23–28 сентября 2019 г.). 2019. С. 118–121.

265. Бычков И.В., Жарков М.Л., Казаков А.Л. Интеллектуальная технология моделирования объектов транспортно-логистической инфраструктуры на основе теории массового обслуживания // Материалы Восьмой Междунар. конф. «Системный анализ и информ. технологии» (САИТ-2019, 8–14 июля 2019 г., Иркутск–Листвянка). 2019. С. 541–548.

266. Бычков И.В., Опарин Г.А., Феоктистов А.Г., Сидоров И.А., Горский С.А., Костромин Р.О., Еделев А.В. Гетерогенная распределенная вычислительная среда для решения крупномасштабных задач исследования энергетической безопасности // Информ. технологии и нанотехнологии: Сб. тр. V Междунар. конф. и молодежной школы (ИТНТ-2019). Самара: Новая техника, 2019. С. 445–454.

267. Бычков И.В., Опарин Г.А., Богданова В.Г., Пашинин А.А. Организация управления гибридными вычислениями в пакете прикладных микросервисов // Материалы XII мультikonференции по проблемам управления (МКПУ-2019). Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во Южного Федерального ун-та, 2019. Т. 3. С. 40–43.

268. Бычков И.В., Ружников Г.М., Парамонов В.В., Михайлов А.А., Фёдоров Р.К., Ключевский А.В., Демьянович В.М., Дэмбэрэл С. Сервис-ориентированная информационно-аналитическая среда зонирования сейсмической опасности литосферных блоков Прибайкалья и Монголии // Материалы Восьмой Междунар. конф. «Системный анализ и информ. технологии» (САИТ-2019, 8–14 июля 2019 г., Иркутск–Листвянка). 2019. С. 521–527.

269. Бычков И.В., Ружников Г.М., Хмельнов А.Е., Федоров Р.К., Маджара Т.И. Цифровой мониторинг экосистемы озера Байкал // Тр. Всерос. конф. с междунар. участием «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов» (Бердск, 26–30 августа 2019 г.). 2019. С. 8–14.

270. Бычков И.В., Ружников Г.М., Хмельнов А.Е., Федоров Р.К., Маджара Т.И., Шигаров А.О., Попова А.К. Информационно-телекоммуникационная платформа цифрового мониторинга озера Байкал // Тр. Восьмой Междунар. конф. «Системный анализ и



информационные технологии» (САИТ-2019, 8–14 июля 2019 г., Иркутск–Листвянка). М.: ФИЦ ИУ РАН, 2019. С. 26-33.

271. Бычков И.В., Феоктистов А.Г., Горский С.А., Сидоров И.А., Фереферов Е.С., Федоров Р.К., Еделев А.В. Предметно-ориентированная распределенная вычислительная среда поддержки принятия решений по обеспечению живучести систем энергетики // Материалы XII мультikonференции по проблемам управления (МКПУ-2019). Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во Южного Федерального ун-та, 2019. Т. 3. С. 13-15.

272. Бычков И.В., Хмельнов А.Е., Гаченко А.С., Хмельнова Т.Ф. Проблемы, методы и технологии построения и совмещения подводного 3D рельефа с надводным // Материалы Междунар. научно-практ. конф., посвященной памяти чл.-корр. РАН А.Н. Антипова (Иркутск, 23-27 сентября 2019 г.). 2019. С. 972-974.

273. Васильев И.Л., Ушаков А.В., Груздева Т.В. Двухуровневая задача о Р-медиане с условием надежности (посвящается проф. О.В. Васильеву) // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 385-388.

274. Ватутин Э.И., Бельшев А.Д., Кочемазов С.Е., Заикин О.С., Никитина Н.Н., Манзюк М.О. О полиномиальном сведении задач на базе латинских квадратов к задаче о точном покрытии // Материалы XV Междунар. научно-техн. конф. «Распознавание-2019» (Курск, 14-17 мая 2019 г.). 2019. С. 62-64.

275. Ватутин Э.И., Никитина Н.Н., Манзюк М.О., Заикин О.С., Бельшев А.Д. О свойствах клик из диагональных латинских квадратов малой размерности на множестве бинарного отношения ортогональности // Тр. Всерос. научно-техн. конф. «Интеллектуальные и информационные системы» (ИНТЕЛЛЕКТ-2019, Тула, 19-20 ноября 2019 г.). 2019. С. 17-23.

276. Гаченко А.С., Хмельнов А.Е. Технология цифрового моделирования фрагментов рельефа озера Байкал и прилегающей акватории // Тр. VI Междунар. конф. «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли» (Красноярск, 10-13 сентября 2019 г.). 2019. С. 205-207.

277. Гаченко А.С., Хмельнов А.Е., Ружников Г.М. Внедрение современных информационных технологий в региональных проектах // Материалы Восьмой Междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2019, Иркутск–Листвянка, 8–14 июля 2019 г.). М.: ФИЦ ИУ РАН, 2019. С. 313–320.

278. Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С. Вычислительная технология решения задач оптимального управления в системах с переменным запаздыванием // «Устойчивость, управление, дифференциальные игры» (SCDG 2019): Материалы Междунар. конф., посвященной 95-летию со дня рождения акад. Н.Н. Красовского (Екатеринбург, 16–20 сентября 2019 г.). Екатеринбург: ИММ УрОРАН, 2019. С. 99–102.

279. Давыдов А.В., Нагул Н.В., Ларионов А.А. Проверка свойства ко-наблюдаемости формального языка при помощи логического вывода // Тр. XIII Всерос. совещания по проблемам управления (ВСПУ-2019, Москва, 17-20 июня 2019 г.). 2019. С. 1925-1929.

280. Данеев А.В., Лакеев А.В., Русанов В.А., Русанов М.В. К прецизионной калибровке уравнений нелинейных колебаний крупногабаритной космической конструкции // Тр. XIII Всерос. совещания по проблемам управления (ВСПУ-2019, Москва, 17-20 июня 2019 г.). 2019. С. 367-373.

281. Дородных Н.О., Коршунов С.А., Юрин А.Ю. Использование концепт-карт при разработке схем онтологий для прогнозирования состояний технических систем в нефтехимии // Материалы VII Междунар. конф. «Знания–Онтологии–Теории» (ЗОНТ-2019, Новосибирск, 7-11 октября 2019 г.). Новосибирск: НГУ, 2019. С. 165-173.



282. Дородных Н.О., Николайчук О.А., Юрин А.Ю. Применение нечетких диаграмм Исикавы для создания баз знаний // Материалы Восьмой Междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2019, Иркутск–Листвянка, 8–14 июля 2019 г.). М.: ФИЦ ИУ РАН, 2019. С. 192–198.
283. Дородных Н.О., Юрин А.Ю. Инженерия паттернов онтологического проектирования на основе анализа и трансформации концептуальных карт // Материалы Восьмой Междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2019, Иркутск–Листвянка, 8–14 июля 2019 г.). М.: ФИЦ ИУ РАН, 2019. С. 153–161.
284. Дружинин Э.И., Бычков И.В., Ульянов С.А. Конечно-шаговый расчет программных управлений, не порождающий сингулярных состояний гиросистемы // Тр. XIII Всерос. совещания по проблемам управления (ВСПУ-2019, Москва, 17-20 июня 2019 г.). 2019. С. 918-922.
285. Дыхта В.А. Приближенный позиционный принцип минимума для субоптимальных процессов в негладких задачах оптимального управления // Материалы Междунар. конф., посвященной 95-летию со дня рождения акад. Н.Н. Красовского (Екатеринбург, 16-20 сентября 2019 г.). 2019. С. 127-130.
286. Дьякович М.П., Финогенко И.А. Системный подход к анализу связанного со здоровьем качества жизни населения // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 366-369.
287. Зароднюк Т.С., Энхбат Р., Горнов А.Ю., Хандаров Ф.В. Численное исследование экономических моделей оптимального управления с использованием преобразования Гернет-Валентайна // Тр. Восьмой Междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2019, Иркутск–Листвянка, 8–14 июля 2019 г.). 2019. С. 80–85.
288. Иртегов В.Д., Титоренко Т.Н. Об использовании нелинейных комбинаций первых интегралов в анализе консервативных систем // Сб. тр. XII Всерос. съезда по фундамент. проблемам теоретической и прикладной механики (Уфа, 19-24 августа 2019 г.). 2019. Т. 1. С. 82-84.
289. Казаков А.Л., Лебедев П.Д. Об алгоритмах построения покрытий и упаковок наборами кругов различного радиуса // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 389-392.
290. Казаков А.Л., Лемперт А.А., Ле К.М. Об алгоритме упаковки кругов разного радиуса в ограниченное множество в неевклидовом метрическом пространстве // Тр. Восьмой Междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2019, Иркутск–Листвянка, 8-14 июля 2019 г.). 2019. С. 72-79.
291. Кензин М.Ю., Бычков И.В., Максимкин Н.Н. Координация группы мобильных роботов при осуществлении комплексного мониторинга большой продолжительности // Тр. XIII Всерос. совещания по проблемам управления (ВСПУ-2019, Москва, 17-20 июня 2019 г.). 2019. С. 2351-2356.
292. Кензин М.Ю., Бычков И.В., Максимкин Н.Н. Комплексный многоцелевой мониторинг группой автономных транспортных средств // Материалы XII мультikonференции по проблемам управления (МКПУ-2019, Дивногорское, Геленджик, 23-28 сентября 2019 г.). 2019. С. 75-77.
293. Ключевский А.В., Демьянович В.М., Ключевская А.А., Ружников Г.М. Группирующая сейсмичность Байкальской рифтовой зоны // Материалы научного совещания (Иркутск, 15-18 октября 2019 г.). 2019. С. 113-114.



294. Косов А.А. Об устойчивости взаимосвязанных нелинейных осцилляторов // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 232-233.
295. Косов А.А., Семенов Э.И. Периодические решения системы двух уравнений реакции-диффузии со степенными нелинейностями // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 140-143.
296. Костылев Д.А., Толстихин А.А. Реализация базовых сервисов программно-аппаратного комплекса для исследования поведения группировок автономных мобильных роботов // Сб. тр. Пятой Всерос. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Иркутск, 16–17 мая 2019 г.). 2019. С. 512-518.
297. Криваль Е.А., Верхозина А.В., Федоров Р.К., Казановский С.Г., Мурашко В.В., Тарасов Д.В. Роль Тункинского национального парка в сохранении редких видов сосудистых растений // Материалы Всерос. научно-практ. конф., посвящ. 50-летию со дня образования Байкальского гос. природного биосферного заповедника (Танхой, 14-15 октября 2019 г.). Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2019. С. 142-147.
298. Лакеев А.В. О внутренней устойчивости некоторых формаций // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 234-237.
299. Лемперт А.А., Казаков А.Л. О задаче построения кратного покрытия замкнутого множества в двумерном неевклидовом пространстве // Тр. XIII Всерос. совещания по проблемам управления (ВСПУ-2019, Москва, 17-20 июня 2019 г.). 2019. С. 1146-1150.
300. Лемперт А.А., Казаков А.Л., Ле К.М. О задаче многократной упаковки кругов в ограниченное множество // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 397-399.
301. Малтугуева Г.С., Юрин А.Ю. Применение прецедентного подхода для подбора метода принятия решений // Материалы Восьмой Междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2019, Иркутск–Листвянка, 8–14 июля 2019 г.). М.: ФИЦ ИУ РАН, 2019. С. 259–264.
302. Малтугуева Н.С., Погодаев Н.И. Локальный поиск в задаче размещения с квадратичной ценой // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 400-401.
303. Малтугуева Н.С., Самсонюк О.Н. Управление процессами выметания с траекториями ограниченной вариации // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 238-241.
304. Марков Ю.А., Маркова М.А., Бондаренко А.И. Волновое уравнение четвертого порядка в теории частиц со спином $3/2$ // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 148-153.
305. Николайчук О.А., Павлов А.И., Столбов А.Б. Методическое и программное обеспечение процесса гибкой разработки агентных имитационных моделей // Тр. Девятой Всерос. научно-практ. конф. по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности (ИММОД-2019, 16–18 октября 2019 г.). Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т, 2019. С. 215-222.
306. Николайчук О.А., Павлов А.И., Столбов А.Б. Онтологический подход для описания методологии агентного моделирования // Материалы VII Междунар. конф. «Знания-



Онтологии – Теории» (ЗОНТ-2019, Новосибирск, 7 - 11 октября 2019 г.). Новосибирск: НГУ, 2019. С. 280-284.

307. Новиков М.А. Об устойчивости регулярной прецессии в случае частного интеграла Гесса // Сб. тр. XII Всерос. съезда по фундамент. проблемам теоретической и прикладной механики (Уфа, 19-24 августа 2019 г.). 2019. Т. 1. С. 121-123.

308. Опарин Г.А., Богданова В.Г., Горский С.А. Параллельное решение задач качественного исследования двоичных динамических систем на основе метода булевых ограничений // Тр. VIII Междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2019). М.: Изд-во ФИЦ ИУ РАН, 2019. С. 59-66.

309. Орлов А.В., Груздева Т.В. О решении задач двухуровневой оптимизации с матричной игрой на нижнем уровне // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 402-405.

310. Петренко П.С. К вопросу о разрешимости вырожденной гибридной системы // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О. В. Васильева. 2019. С. 163-166.

311. Петренко П.С. К вопросу об управляемости одной вырожденной гибридной системой // Материалы Междунар. конф. «Устойчивость, управление, дифференциальные игры» (SCDG'2019). 2019. С. 251-255.

312. Погодаев Н.И., Старицын М.В. Об одной игровой задаче импульсного управления мультиагентной системой // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 269-271.

313. Попова А.К. Разработка веб-сервиса прогнозирования динамики лесных ресурсов // Материалы Восьмой Междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2019, 8–14 июля 2019 г., Иркутск - Листвянка). М.: ФИЦ ИУ РАН, 2019. С. 573-578.

314. Свинина С.В. Об одной квазилинейной системе дифференциально-алгебраических уравнений в частных производных // Материалы Междунар. конф. «Воронежская зимняя матем. школа» (Воронеж, 28 января-2 февраля 2019 г.). 2019. С. 234-237.

315. Сидоров И.А., Феоктистов А.Г. Средство тестирования выделяемых узлов кластера и освобождения их ресурсов в процессе обработки потока заданий // Тр. Междунар. конф. «Суперкомпьютерные дни в России». М.: МАКС Пресс, 2019. С. 229-230.

316. Сорокин С.П., Сорокина П.Г. Необходимые условия оптимальности с позиционными управлениями для многоэтапных линейных по состоянию задач оптимального управления // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 278-281.

317. Сороковиков П.С., Горнов А.Ю., Аникин А.С. Вычислительная технология исследования атомно-молекулярных кластеров Саттона-Чена сверхбольших размерностей // Материалы Восьмой Междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2019, Иркутск – Листвянка, 8–14 июля 2019 г.). М.: ФИЦ ИУ РАН, 2019. С. 86–94.

318. Столбов А.Б., Батулин В.А. Intellectual technologies for medical-ecological-economic systems research support // Тр. Восьмой Междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2019, Иркутск-Листвянка, 8-14 июля 2019 г.). 2019. С. 528-533.

319. Столбов А.Б., Павлов А.И. Архитектура программного комплекса для формирования агентных имитационных моделей на основе MDD подхода // Тр. Восьмой Междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2019, 8 – 14 июля 2019 г., Иркутск – Листвянка). М.: ФИЦ ИУ РАН, 2019. С. 549-555.



320. Стрекаловский А.С. Элементы глобального поиска в общей задаче D.C. оптимизации // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 49-61.
321. Толстихин А.А., Костылев Д.А. Многоуровневая архитектура системы управления группировками роботов и ее реализация в имитационном стенде на базе LEGO EV3 // Сб. тр. Пятой Всерос. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Иркутск, 16–17 мая 2019 г.). 2019. С. 512-518.
322. Тятюшкин А.И. Многометодная оптимизация управления в сложных прикладных задачах // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 292-294.
323. Ульянов С.А., Максимкин Н.Н. Управление строем АНПА с учетом ограничений на ресурсы управления // Тр. XIII Всерос. совещания по проблемам управления (ВСПУ-2019, Москва, 17-20 июня 2019 г.). 2019. С. 1220-1224.
324. Федоров Р.К. Сервисы публикации картографических и реляционных баз // Материалы Междунар. научно-практ. конф., посвященной памяти чл.-корр. РАН А.Н. Антипова (Иркутск, 23-27 сентября 2019 г.). 2019. С. 72-76.
325. Федоров Р.К. Построение вычислительных цепочек на основе статистических данных о применении сервисов пользователями // Тр. Восьмой Междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2019, Иркутск-Листвянка, 8-14 июля 2019 г.). 2019. С. 590-593.
326. Федоров Р.К., Китов А.Д., Авраменко Ю.В. Автоматизация формирования базы данных ледников на основе ДЗЗ // Тр. Всерос. конф. с междунар. участием «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов» (Бердск, 26-30 августа 2019 г.). 2019. С. 207-211.
327. Феоктистов А.Г., Горский С.А., Сидоров И.А., Костромин Р.О., Фереферов Е.С. Непрерывная интеграция функционального наполнения распределенных пакетов прикладных программ // Материалы XIII Междунар. конф. «Параллельные вычисл. технологии» (ПаВТ'2019, Калининград, 2-4 апреля 2019 г.). Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2019. С. 464.
328. Феоктистов А.Г., Костромин Р.О. Система машинного обучения агентов управления распределенными вычислениями // Материалы XII мультikonференции по проблемам управления (МКПУ-2019). Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во Южного Федерального ун-та, 2019. Т. 3. С. 216-218.
329. Феоктистов А.Г., Костромин Р.О., Черных А.Н. Система обучения агентов управления вычислениями в гетерогенной распределенной среде // Тр. VIII Междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2019). М.: Изд-во ФИЦ ИУ РАН, 2019. С. 556-562.
330. Финогенко И.А. Принцип инвариантности для разрывных систем // Материалы Междунар. конф. «Устойчивость, управление, дифференциальные игры» (Екатеринбург). 2019. С. 342-346.
331. Финогенко И.А. Принцип инвариантности для разрывных систем с сухим трением // Материалы Междунар. симпозиума, посвященного 100-летию матем. образования в Вост. Сибири и 80-летию со дня рождения проф. О.В. Васильева. 2019. С. 176-179.
332. Хмельнов А.Е. Автоматическая генерация кода чтения и отображения бинарных данных по спецификациям форматов данных на языке FlexT // Материалы Восьмой Междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2019, Иркутск-Листвянка, 8–14 июля 2019 г.). М.: ФИЦ ИУ РАН, 2019. С. 563–573.
333. Хмельнов А.Е., Гаченко А.С., Михайлов А.А., Минаев В.В., Минаев А.В. Оценка газообмена в Иркутском водохранилище // Сб. тр. Всерос. конф. «Обработка



пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов» (26-30 августа 2019 г., Бердск). 2019. С. 212-218.

Тезисы докладов

334. Anikin A., Zarodnyuk T., Sorokovikov P., Khandarov F. Techniques for software performance and reliability testing // Proc. of Intern. Workshop «Critical Infrastructures in the Digital World» (IWCI 2019, Baikalsk, March 17-24, 2019). P. 11–12.

335. Dykhita V., Sorokin S. Feedback minimum principle for optimal control problems in discrete-time systems and its applications // Abstracts XVIII Intern. Conf. «Mathematical Optimization Theory and Operations Research» (MOTOR 2019). Ekaterinburg: Publisher «UMC UrFU», 2019. P. 83.

336. Enkhbat R., Barkova M., Batbileg S. D.C. Programming Approach to Malfatti's Problem // Abstracts of the 6th Intern. Conf. on Optimization, Simulation and Control (COSC 2019, June 21-23, 2019). 2019. P. 33.

337. Enkhbat R., Gruzdeva T.V., Tungalag N., Battogtokh O. Global Optimization Approach to Solving Mineral Processing Problem // Abstracts of the 6th Intern. Conf. on Optimization, Simulation and Control (COSC 2019, June 21-23, 2019). 2019. P. 22.

338. Gornov A., Sorokovikov P. Low-potential Morse clusters of dimensions from 281 to 300 atoms // Book include abstracts of reports presented at the X Intern. Conf. on Optimization Methods and Applications Optimization and applications (OPTIMA 2019, Petrovac, Montenegro, September 30-October 4, 2019). P. 47.

339. Gornov A., Zarodnyuk T., Anikin A., Sorokovikov P., Finkelshtein E. Collection of reachable sets for dynamical systems with linear controls // Proc. of Intern. Workshop «Critical Infrastructures in the Digital World» (IWCI 2019, Baikalsk, March 17-24, 2019). P. 92–93.

340. Gornov A.Yu. The technology for solving of mathematical programming problems for equilibria search in several person games // Abstracts of the 6th Intern. Conf. on Optimization, Simulation and Control (COSC2019, Ulaanbaatar, June 21-23, 2019). Ulaanbaatar: National University of Mongolia, 2019. P. 59–60.

341. Gornov A.Yu., Anikin A.S. Investigation of the reachable set for the dynamic neural model // Book include abstracts of reports presented at the X Intern. Conf. on Optimization Methods and Applications Optimization and applications (OPTIMA 2019, Petrovac, Montenegro, September 30 - October 4, 2019). P. 48.

342. Gornov A., Anikin A. Post-optimization analysis for atomic-molecular clusters // Proc. of Intern. Workshop «Critical Infrastructures in the Digital World» (IWCI 2019, Baikalsk, March 17-24, 2019). P. 40–41.

343. Orlov A.V. D.C. Optimization Approach for Bilevel Problems with a Matrix Game at the Lower Level // Abstracts of the 6th Intern. Conf. on Optimization, Simulation and Control (COSC 2019, June 21-23, 2019). 2019. P. 62.

344. Ruzhnikov G.M., Klyuchevskii A.V., Paramonov V.V., Mikhailov A.A., Fedorov R.K., Dem'yanovich V.M., Debrel S. Service-oriented Information and Analytical the System of Estimation of Influence of the Lithosphere Model on Dynamic Parameters of Rocky Soil Oscillations From Earthquakes of Southern Baikal Region // Proc. Information Technologies in Earth Sciences and Applications for Geology, Mining and Economy (ITES&MP-2019, Moscow, 14-18 October 2019). P. 18.

345. Samsonyuk O., Sorokin S., Staritsyn M. Feedback Necessary Optimality Conditions for Nonlinear Measure-Driven Processes // The joint Conference the 8th IFAC Symposium on



Mechatronic Systems (MECHATRONICS'2019) and the 11th IFAC Symposium on Nonlinear Control Systems (NOLCOS'2019, 4-6 September, 2019, Vienna, Austria). 2019. P. 36.

346. Samsonyuk O., Sorokin S., Staritsyn M. Feedback Optimality Conditions with Weakly Invariant Functions for Nonlinear Problems of Impulsive Control // Abstracts XVIII Intern. Conf. «Mathematical Optimization Theory and Operations Research» (MOTOR 2019). Ekaterinburg: Publisher «UMC UrFU», 2019. P. 97-98.

347. Sorokovikov P. Low-potential states of atomic-molecular Dzugutov clusters of large dimensions // Abstracts of the 6th Intern. Conf. on Optimization, Simulation and Control (COSC 2019, Ulaanbaatar, June 21-23, 2019). Ulaanbaatar: National University of Mongolia, 2019. P. 62–63.

348. Sorokovikov P. Software implementation of nonlocal one-dimensional search algorithms based on the Hölder condition // Book include abstracts of the X Intern. Conf. on Optimization Methods and Applications Optimization and applications (OPTIMA 2019, Petrovac, Montenegro, September 30 -October 4, 2019). P. 113.

349. Sorokovikov P., Gornov A. Metallic Gupta clusters of extremely large dimensions // Proc. of Intern. Workshop «Critical Infrastructures in the Digital World» (IWCI 2019, Baikalsk, March 17-24, 2019). P. 71–72.

350. Sorokovikov P., Gornov A., Anikin A., Zarodnyuk T. Computational technology for the study of low-potential Gupta clusters of extremely large dimensions // Book include abstracts of the X Intern. Conf. on Optimization Methods and Applications Optimization (OPTIMA 2019, Petrovac, Montenegro, September 30 - October 4, 2019). P. 114.

351. Strekalovskiy A. On a Global Search in D.C. Optimization Problems // Proc. of the X Intern. Conf. on Optimization Methods and Applications «Optimization and applications» (OPTIMA 2019, Petrovac, Montenegro, September 30–October 4, 2019). P. 119.

352. Strekalovsky A.S. On the global search in D.C. optimization problem // Тез. Междунар. конф. «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики» (Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.). 2019. P. 144.

353. Strekalovsky A. Theory of Global Search for General D.C. Optimization // Abstracts of the 6th Intern. Conf. on Optimization, Simulation and Control (COSC 2019, June 21-23, 2019). 2019. P. 19.

354. Zarodnyuk T.S. Numerical study of one nonconvex trajectory problem of molecular dynamics // Abstracts of the 6th Intern. Conf. on Optimization, Simulation and Control (COSC 2019, Ulaanbaatar, June 21-23, 2019). Ulaanbaatar: National University of Mongolia, 2019. P. 61.

355. Zarodnyuk T.S., Gornov A.Yu. Optimization problems for trajectory bundles of controlled systems // Book include abstracts of the X Intern. Conf. on Optimization Methods and Applications Optimization (OPTIMA 2019, Petrovac, Montenegro, September 30 - October 4, 2019). P. 133.

356. Аникин А.С. Технология GPU-распараллеливания для оптимизации энергетической модели молекулярного докинга // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 5.

357. Аникин А.С. Ускоренный покомпонентный метод для разреженных задач выпуклой оптимизации: строгие оценки сложности и практическая эффективность // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 6–7.

358. Аникин А.С. Численные эксперименты по исследованию алгоритмических схем типа «мультистарт с поколениями» для оптимизации невыпуклых воронкообразных функций // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 4.



359. Аникин А.С., Зароднюк Т.С. Безградиентный метод глобальной оптимизации на основе мультиагентной технологии для графического ускорителя // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 8.
360. Аникин А.С., Ненашев А.В. Исследование параллельных технологий решения задач минимизации потенциала Китинга с размерностями до 10^8 переменных // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 9.
361. Антонов К.В., Семенов А.А. Алгоритмы поиска линеаризующих множеств в алгебраическом криптоанализе // Материалы конф. «Ляпуновские чтения». (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 10.
362. Булатов М.В., Соловарова Л.С. О линейных дифференциально-алгебраических уравнениях высокого порядка // Материалы Воронежской зимней матем. школы (Воронеж, 28 января-2 февраля 2019 г.). 2019. С. 56.
363. Бывальцев В.А., Калинин А.А., Малков Ф.С., Очкал С.В., Польшкин Р.А. Перспективы применения технологий 3D печати в Байкальском регионе // Сб. тез. Междунар. конф. «Перспективы развития биомедицинских технологий в Байкальском регионе» (Иркутск, 5-7 февраля 2019 г.). 2019. С. 11-12.
364. Васильев И.Л., Груздева Т.В., Ушаков А.В. Об одной задаче размещения при наихудшем сценарии потерь объектов обслуживания // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 74.
365. Воскобойников М.Л. Актуализация данных об использовании сервисов, получаемых с датчиков мобильного устройства // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 20.
366. Гладкочуб Д.П., Горнов А.Ю., Складов Е.В., Козлов В.В., Донская Т.В. Идентификация моделей взаимодействия мантийных и коровых магм на различных уровнях земной коры // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 21.
367. Горнов А.Ю., Аникин А.С. Исследование валидности тригонометрической редукции задач «mixed-integer» класса к непрерывным задачам глобальной оптимизации // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 22.
368. Горнов А.Ю., Аникин А.С., Зароднюк Т.С. Программная реализация метода Понтрягина с использованием параллельных вычислительных технологий // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 23.
369. Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С. Численное решение траекторных задач молекулярной динамики для систем с различными типами потенциалов // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 24.
370. Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С., Зиновьева А.Ф., Ненашев А.В. Исследование возможности управления проводимостью массива квантовых точек на примере релаксации фотопроводимости в магнитном поле // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 25.
371. Грибанова И.А., Семенов А.А. Об отсутствии свойств случайного оракула у полнораундового варианта хеш-функции MD4 // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2-5 декабря 2019 г.). С. 26.
372. Еделев А.В., Зоркальцев В.И., Феоктистов А.Г. Применение комбинаторного моделирования для исследования развития систем энергетики // Марчуковские научные чтения -2019: Тез. Междунар. конф. «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики». Новосибирск, 2019. С. 137.



373. Жарков М.Л., Казаков А.Л., Павидис М.М. Применение теории массового обслуживания для моделирования железнодорожных сортировочных станций // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2-5 декабря 2019 г.). С. 33-34.
374. Заикин О.С., Кочемазов С.Е. Применение методов оптимизации для решения трудных экземпляров проблемы булевой выполнимости // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2-5 декабря 2019 г.). С. 35.
375. Зароднюк Т.С., Горнов А.Ю. Многоэтапная методика повышения надежности численного решения невыпуклых задач оптимального управления // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2-5 декабря 2019 г.). С. 36.
376. Зароднюк Т.С., Горнов А.Ю. Технология численной аппроксимации интегральной воронки для полиэдрально управляемой системы // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2-5 декабря 2019 г.). С. 37-38.
377. Зароднюк Т.С., Горнов А.Ю., Аникин А.С. Технология аппроксимации многомерных временных рядов с использованием нелинейных динамических моделей на плоскости // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2-5 декабря 2019 г.). С. 39.
378. Зароднюк Т.С., Сорокин С.П. Технология приближенного решения задачи оптимального управления на основе нелокального условия оптимальности // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2-5 декабря 2019 г.). С. 40-41.
379. Зароднюк Т.С., Сорокин П.С. О численном исследовании некоторых экономических моделей с использованием программного комплекса OPTCON-IEOPP // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2-5 декабря 2019 г.). С. 42-43.
380. Иртегов В.Д., Титоренко Т.Н. О выделении и использовании семейств инвариантных многообразий в качественном анализе вполне интегрируемых систем // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2-5 декабря 2019 г.). С. 44.
381. Казаков А.Л., Кузнецов П.А. Об одной теореме существования и единственности решения типа тепловой волны для нелинейного уравнения теплопроводности с источником // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2-5 декабря 2019 г.). С. 45.
382. Кензин М.Ю. Координация группы автономных мобильных роботов в условиях топливных ограничений // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2-5 декабря 2019 г.). С. 46.
383. Кензин М.Ю., Максимкин Н.Н. Координация группы автономных роботов в условиях топливных ограничений // Тез. докл. XX Всерос. конф. молодых ученых по матем. моделированию и информ. технологиям (Новосибирск, 28 октября-1 ноября 2019 г.). Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2019. С. 61.
384. Козлов В.В. Оценка причин, вызывающих генерацию потоков газа в глубоководных районах озера Байкал // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2-5 декабря 2019 г.). С. 50-51.
385. Косов А.А. Алгоритм построения общих функций Ляпунова для систем с переключениями // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2-5 декабря 2019 г.). С. 52-54.
386. Косов А.А., Семенов Э.И. Распределенная модель освоения пространства двумя типами взаимодействующих роботов и ее точные решения // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2-5 декабря 2019 г.). С. 55-57.
387. Косов А.А., Семенов Э.И. Точные многомерные решения некоторых нелинейных систем уравнений // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2-5 декабря 2019 г.). С. 58.



388. Костылев Д.А. Распределенные вычисления в программно-аппаратном моделирующем комплексе для исследования поведения групп автономных роботов // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 59.
389. Костылева О.Д., Парамонов В.В., Ветрова В.В. О технологии моделирования экстремальных климатических явлений на основе методов машинного обучения // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 60-61.
390. Кочемазов С.Е., Заикин О.С., Кондратьев В.С., Семенов А.А. Использование дубликатов конфликтных ограничений для ускорения CDCL вывода // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2-5 декабря 2019 г.). С. 62.
391. Лакеев А.В. О внутренней устойчивости линейных формаций // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 63-67.
392. Ларионов А.А. Автоматический поиск логического вывода для класса позитивно-образованных формул без неограниченных переменных // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 68-69.
393. Малков Ф.С., Марьян А.Ю. О применении информационных технологий для автоматизации исследований фетального алкогольного синдрома (фетального алкогольного спектра нарушений) // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 70.
394. Малков Ф.С., Нурминская Ю.В. Байкальский центр изучения морфологии однолетних и многолетних листьев растений // Сб. тез. Междунар. конф. «Перспективы развития биомедицинских технологий в Байкальском регионе» (Иркутск, 5-7 февраля 2019 г.). С. 54-55.
395. Михайлов А.А., Хмельнов А.Е., Ружников Г.М. Анализ массивов данных заявлений граждан в МФЦ Иркутской области с использованием методов машинного обучения // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 71.
396. Николайчук О.А., Павлов А.И., Столбов А.Б. Функциональные особенности системы создания агентных имитационных моделей ADSKIT // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2-5 декабря 2019 г.). С. 72.
397. Орлов Св.С. О специальных классах решений уравнения нелинейной диффузии с источником (стоком) // Сб. тез. Междунар. конф. (Уфа, 18-22 марта 2019 г.). 2019. С. 59.
398. Салимов Б.Г., Хмельнов А.Е. Сравнение различных моделей машинного обучения для предсказания критической частоты FOF2 // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 73.
399. Свинина С.В. О подходах к численному решению дифференциально-алгебраических систем уравнений в частных производных индекса выше единицы // Тез. Междунар. конф. «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики» (Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.). 2019. С. 36-37.
400. Семенов А.А., Отпущенников И.В. О технике склеивания переменных в псевдобулевой оптимизации // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2-5 декабря 2019 г.). С. 74.
401. Сороковиков П.С. Металлические кластеры Саттона-Чена размерностей от 81 до 130 атомов // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 75.
402. Сороковиков П.С. Программная реализация алгоритмов невыпуклой оптимизации с систематическим разделением на несколько множеств // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 76–77.
403. Сороковиков П.С., Зароднюк Т.С. Задача оптимального управления мобильным роботом с фазовыми ограничениями // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 78–79.



404. Суслов В.И., Горнов А.Ю., Аникин А.С., Зароднюк Т.С. Программный комплекс ORTCON-IEOPP, версия 2019 г. Новые возможности и приложения // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 80.
405. Толстихин А.А. Разработка гибридного метаэвристического алгоритма оптимизации на базе Whale Optimization Algorithm // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 81.
406. Толстихин А.А. Разработка гибридного алгоритма оптимизации на базе Whale Optimization Algorithm // Тез. докл. XX Всерос. конф. молодых ученых по матем. моделированию и информ. технологиям (Новосибирск, 28 октября–1 ноября 2019 г.). Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2019. С. 81–82.
407. Тятюшкин А.И. Многометодная оптимизация нелинейных систем управления // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 82–84.
408. Феоктистов А.Г., Костромин Р.О. Сравнительный анализ работы метапланировщиков ресурсов в процессе выполнения схемы решения задачи // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 85.
409. Фереферов Е.С., Ветров А.А. Разработка информационной системы поддержки археологических исследований // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 86–87.
410. Финогенко И.А. Метод эквивалентного управления для дифференциальных включений с разрывными обратными связями // Тез. Междунар. конф. «Математика в приложениях». Новосибирск, 2019. С. 224.
411. Финогенко И.А., Дьякович М.П. Технология анализа, связанного со здоровьем качества жизни // Сб. тез. Междунар. научной конф. «Перспективы развития биомедицинских технологий в Байкальском регионе» (Иркутск, 5–7 февраля 2019 г.). 2019. С. 118–119.
412. Хмельнов А.Е. Алгоритм синтаксического разбора простых предложений и словосочетаний русского языка, основанный на согласовании словоформ // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 88–91.
413. Чистяков В.Ф. Свойства краевых задач для нелинейных дифференциально-алгебраических уравнений высокого порядка // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 92.
414. Шабалин А.С. Информационно-образовательная среда обучения FORLABS // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 93.
415. Шайдурова А.В., Ломов В.П. Численное решение уравнения осцилляций нейтрино в среде при помощи разложения Магнуса // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 94.
416. Юрин А.Ю., Дородных Н.О. Восстановление концептуальных моделей из электронных таблиц на примере отчетов по экспертизе промышленной безопасности // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 95–96.
417. Юрин А.Ю., Дородных Н.О., Коршунов С.А. Расширение предметно-ориентированного языка описания моделей трансформаций TMRL // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» (Иркутск, 2–5 декабря 2019 г.). С. 97.

**Свидетельства о государственной регистрации объектов
интеллектуальной собственности**

418. Горбатенко Д.Е., Семенов А.А. Программа для генерации графов атак с применением алгоритмов решения проблемы булевой выполнимости: Свидетельство о государственной



регистрации программ для ЭВМ № 2019663838 от 24.10.2019 г. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2019.

419. Горский С.А., Богданова В.Г. Параллельный решатель проверки истинности 2QBF формул Hrc2qall: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019663252 от 14.10.2019 г. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, 2019.

420. Дородных Н.О., Юрин А.Ю. Knowledge Base Development System: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019661803 от 09.09.2019. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2019.

421. Кочемазов С.Е., Заикин О.С. Программа для оценивания эффективности декомпозиций трудных экземпляров проблемы булевой выполнимости с применением произвольных решателей и возможностью варьирования их параметров: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019664390 от 06.11.2019 г. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2019.

422. Ларионов А.А. Система автоматического доказательства теорем в исчислении позитивно-образованных формул rcfbucket: Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019667624 от 26.12.2019. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2019.

423. Михайлов А.А., Шигаров А.О., Крюков А.П., Коростелева Е.Е., Нгуен М.Д., Бычков И.В. Программа чтения бинарного формата данных TAIGA-IACST: IACST Reader (SOFT): Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019664196 от 1.11.2019 г. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2019.

424. Михайлов А.А., Шигаров А.О., Крюков А.П., Коростелева Е.Е., Нгуен М.Д., Бычков И.В. Программа извлечения метаданных из файлов формата TAIGA-IACST: MDE IACST (SOFT): Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019664787 от 13.11.2019 г. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2019.

Электронные публикации

425. Казаков А.Л. Об аналитическом построении тепловой волны для нелинейного уравнения теплопроводности с источником в полярных координатах // *Diagnostics, Resource and Mechanics of Materials and Structures*. Электронный научный журнал. 2019. № 5.



СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ В РАМКАХ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАДАНИЯ ИДСТУ СО РАН

Выполнение фундаментальных научных исследований по теме (проекту)	Количество научных публикаций в журналах, индексируемых в российских и международных информационно-аналитических системах научного цитирования / Из них в Web of Science, Scopus	
	План	Факт
I.1.4.1. Эволюционные уравнения и управляемые системы: теория, численный анализ и приложения (руководитель – чл.-к. РАН А.А. Толстоногов)	32/15	42/35
I.1.4.2. Развитие математических методов описания процессов в физике высоких энергий, высокотемпературной плазме и механике сплошных сред (руководитель – д.ф.-м.н. Ю.А. Марков)	13/6	25/21
I.1.4.3. Качественный анализ динамических свойств и синтез управлений гибридными механическими системами с развитием средств компьютерной алгебры и средств численной реализации (руководитель – д.т.н. Э.И. Дружинин)	13/6	16/9
IV.38.1.1. Технологии разработки проблемно-ориентированных самоорганизующихся мультиагентных систем группового управления: методы, инструментальные средства, приложения (руководитель – ак. И.В. Бычков)	22/10	22/17
IV.38.1.2. Методы и технологии создания распределенной сервисно-ориентированной среды сбора, хранения, обработки больших объемов разноформатных междисциплинарных научных данных и знаний, основанные на конструктивных средствах спецификации, порождающем программировании и интеллектуализации (руководитель – д.т.н. Г.М. Ружников)	22/10	23/11
IV.38.1.3. Разработка методов непрерывной и дискретной оптимизации и их реализация на высокопроизводительных вычислительных системах для поддержки междисциплинарных научных исследований (руководитель – д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский)	20/9	27/23
Информационно-телекоммуникационная платформа цифрового мониторинга озера Байкал на основе сквозных технологий (руководитель – ак. И.В. Бычков)	1/-	2/2
ИТОГО	123/56	157/118



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

№ п/п	Наименование показателя (индикатора)	Ед. изм.	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год
			Факт	Факт	Факт	Факт
1.	Среднесписочная численность работников всего	чел.	130	128	128	126
2.	Численность работников, выполняющих научные исследования и разработки всего, из них:	чел.	147	161	154	153
2.1.	Численность исследователей, всего	чел.	79	84	84	83
3.	Средняя заработная плата научных сотрудников	тыс. руб.	65,3	67,7	73,4	87,1
4.	Отношение средней заработной платы научных сотрудников к средней заработной плате в соответствующем регионе	%	187,00	202,78	201	224
5.	Удельный вес исследователей в возрасте до 39 лет в общей численности исследователей учреждения	%	41,77	45,23	42,9	44,58
6.	Доля исследователей, осуществляющих преподавательскую деятельность в общей численности исследователей	%	47,00	47	46	46
7.	Объем внутренних затрат учреждения на научные исследования и разработки в общем объеме расходов учреждения всего	тыс. руб.	134 734,9	173 412,5	148 325,63	167016,85
8.	Удельный вес средств, полученных учреждением из внебюджетных источников	%	23,10	24,83	18,9	14,6
9.	Стоимость машин и оборудования в возрасте до 5 лет	тыс. руб.	86 275,1	22811,636	26 687	28 479,9
10.	Число публикаций в рецензируемых российских и международных периодических изданиях.	ед.	147	194	188	224
11.	Число научных публикаций в журналах, индексируемых в базе данных Scopus.	ед.	40	114	135	161
12.	Число научных публикаций в журналах, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (Web of Science) за год	ед.	43	76	72	87
13.	Количество зарегистрированных объектов интеллектуальной собственности всего	ед.	89	103	114	121