



## 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.

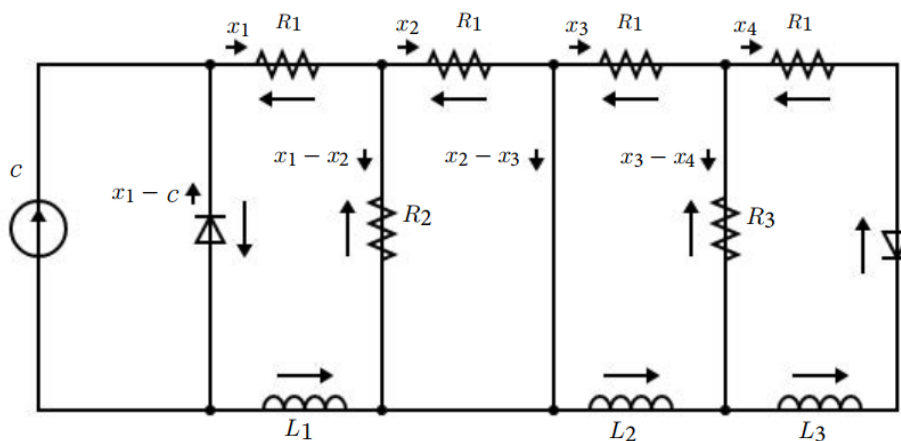


Рис. 2. Электрическая цепь с резисторами, индукционными катушками и диодами

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.

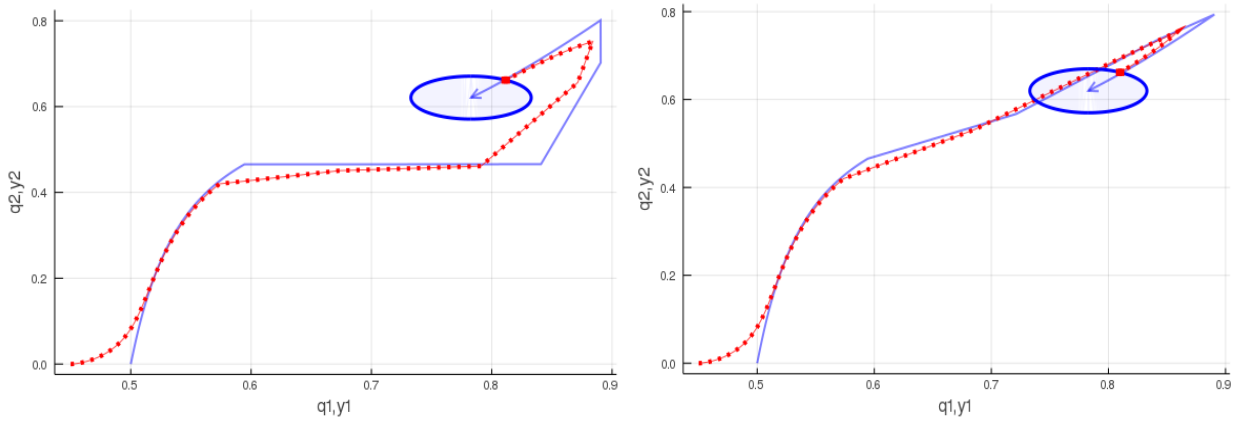


Рис. 3. Модель оптимизации рекламных расходов с гистерезисом

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.

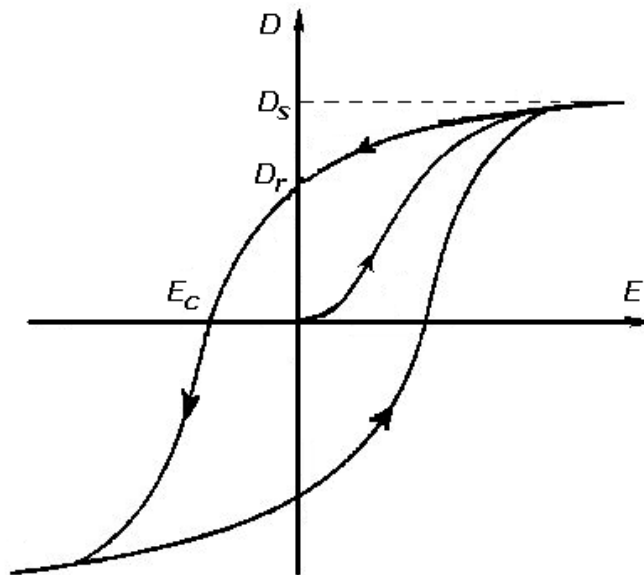


Рис. 4.

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.

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

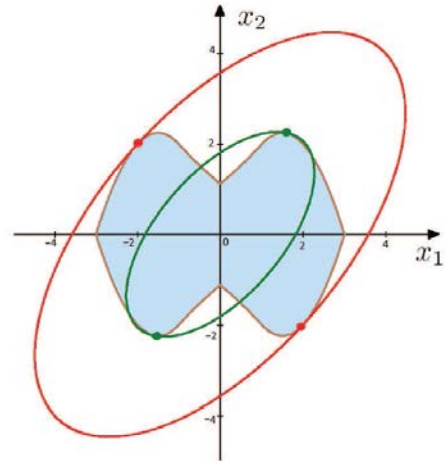


Рис. 5. Пример задачи оптимального импульсного управления с линейно-квадратичным функционалом (слева) и множество достижимости системы с линиями уровня целевой функции и точками локального и глобального минимума (справа). Предложенный метод позволяет при старте с произвольного начального допустимого 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.

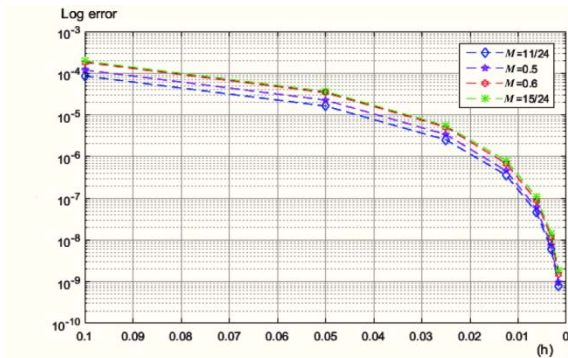


Рис. 6

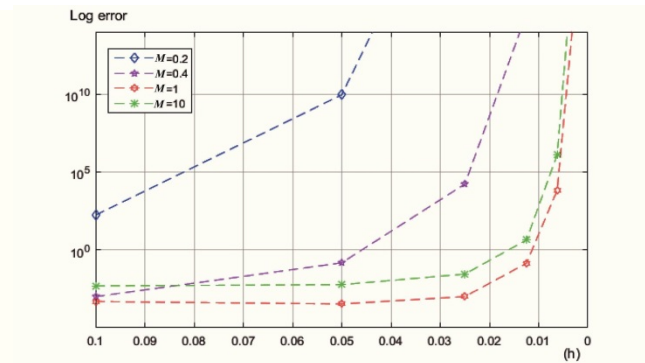


Рис. 7

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.

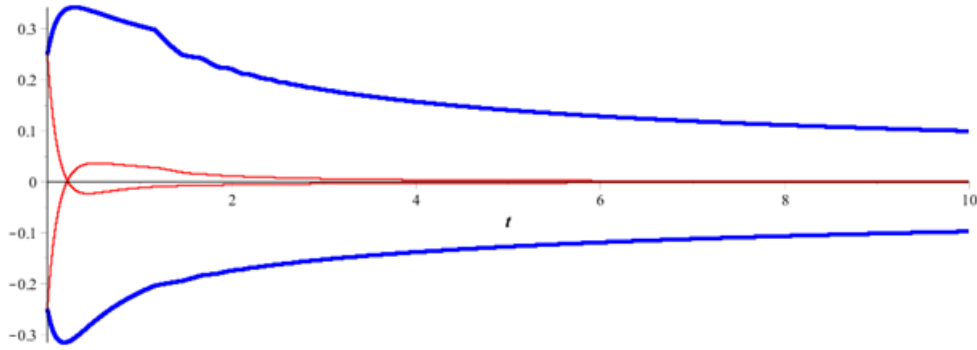
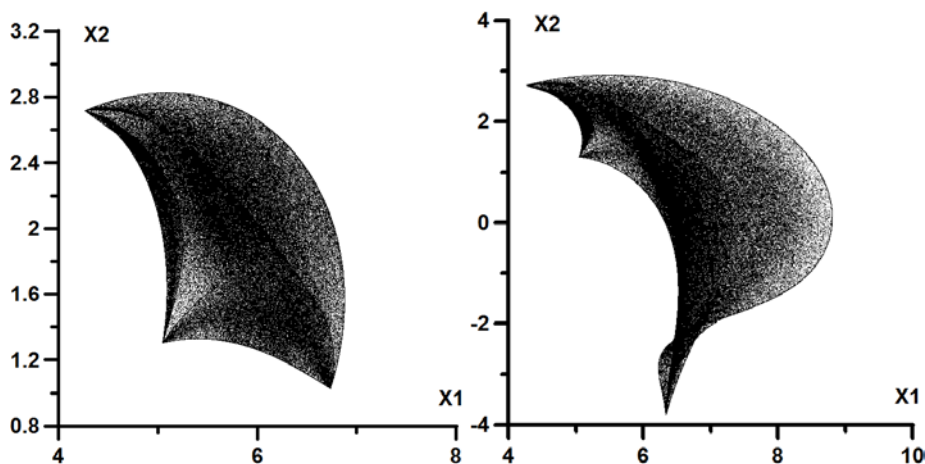


Рис. 8. Пример решения асимптотически устойчивой системы с переключениями.  
Точки излома на графиках соответствуют моментам переключений

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.



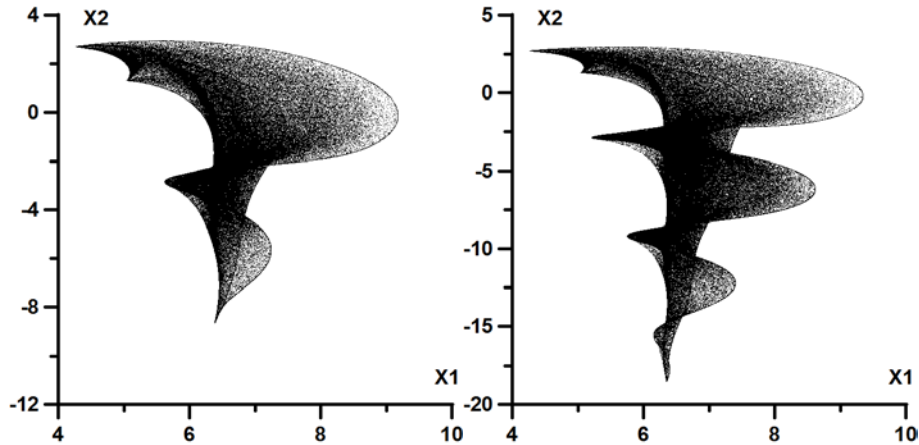


Рис. 9. Аппроксимации множеств достижимости управляемых динамических систем для рассмотренного семейства тестовых задач

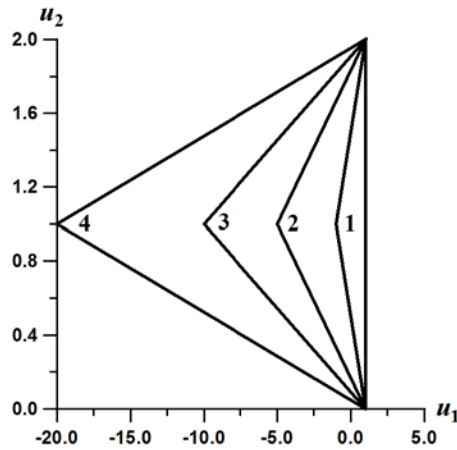


Рис. 10. Множества допустимых управлений для семейства задач с полиэдральными ограничениями

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).

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

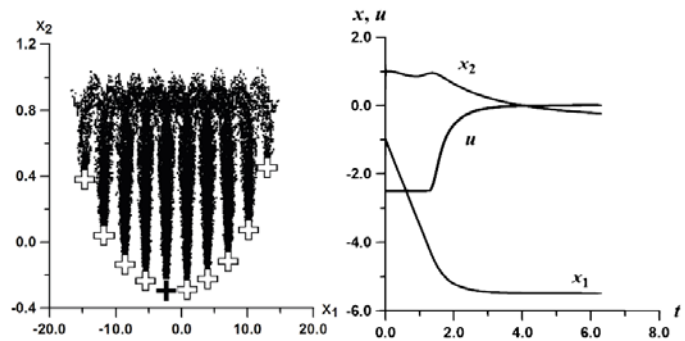


Рис. 11. Постановка задачи оптимального управления, решенной с использованием разработанной вычислительной технологии (слева); множество достижимости с экстремальными точками (глобальный экстремум выделен черным), оптимальные траектории и управление (справа)

*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  $Re N_l^m(r)$ ,  $l=5$ ,  $m=3$  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  $Re (M_l^m(r) + N_l^m(r))$ ,  $l=3$ ,  $m=2$  представлено на рис. 13.

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





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

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.

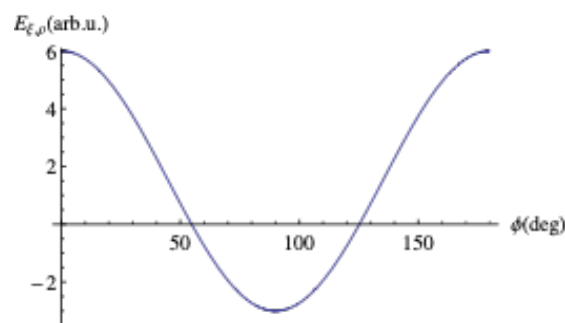


Рис. 14. Азимутальная зависимость радиального поля  $E_{\xi, \rho}$  от его квадрупольного момента

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 гиросилодами – однокарданными силовыми управляющими гироскопами. Технология гарантирует расчет законов управления, не содержащих так называемых сингулярных состояний исполнительной гиросистемы, в которых способность гиросилоды 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 гиросилоды 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 гиросилоды. Результаты многовариантных расчетов подтвердили эффективность разработанной технологии.

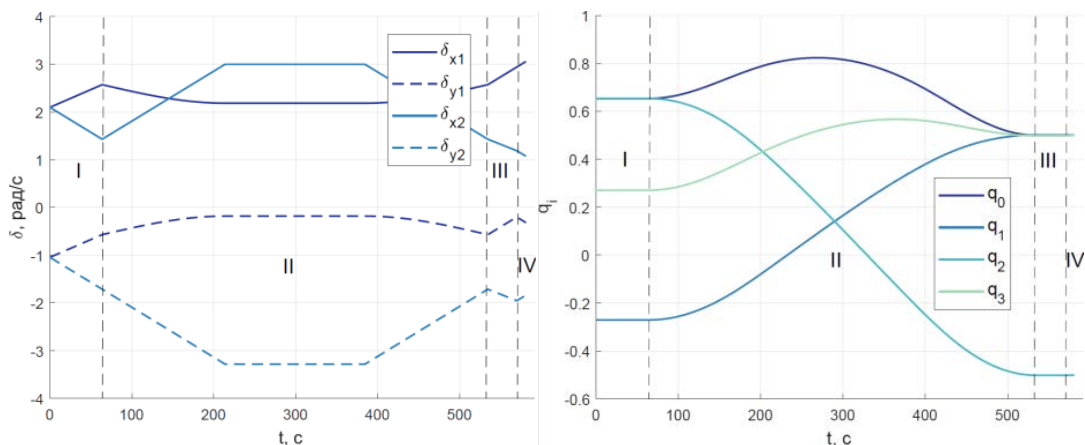


Рис. 15. Пример рассчитанных с использованием разработанной технологии управлений – законов изменения углов прецессий 4-х гиросилоды (слева) и соответствующих им графиков изменений компонент кватерниона ориентации КА (справа)

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



```
#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 {
        {
            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');
    }
}
```

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).

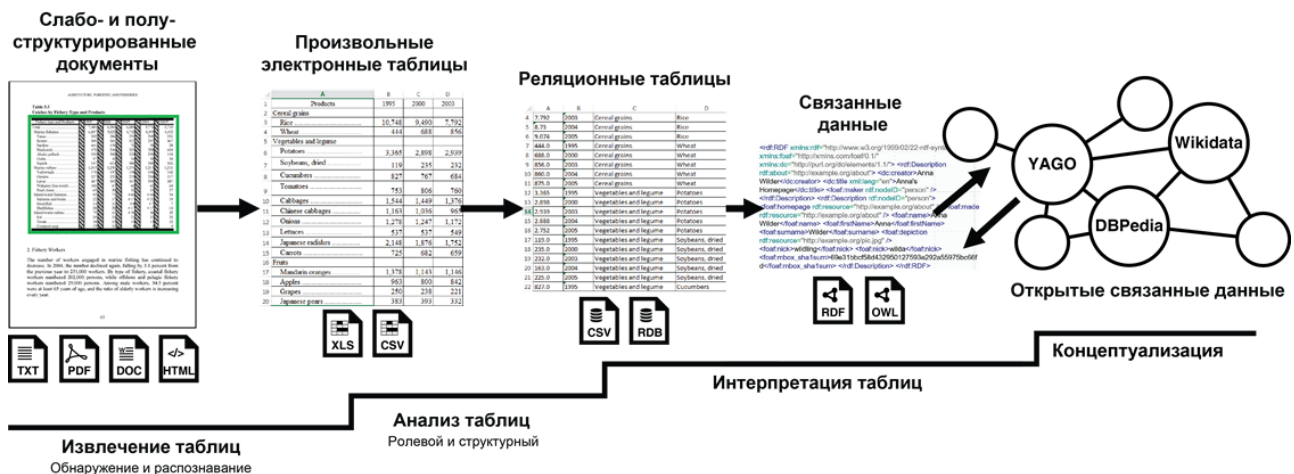


Рис. 18. Автоматическое понимание произвольных таблиц

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. Николаичук, 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-конверторов. 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 деграционных процессов аппаратов в нефтехимии.

The screenshot displays the KBDS web interface. At the top, there is a navigation bar with 'KBDS', 'Мои проекты', 'Администрирование', 'Учетная запись', and a language selector. Below this, a sidebar on the left lists 'Возможные действия' and 'Базы знаний'. The main area is titled 'Базы знаний' and shows a table of knowledge bases. A blue box labeled 'Проекты баз знаний' points to the table. The table has columns for ID, Name, Subject Area, Type, Status, Author, and Created. Three entries are visible:

ID	Наименование	Предметная область	Тип	Статус	Автор	Создана
1	Деграция аппаратов	Деграция машин и конструкций	Продукции	Закрытая	admin	15.03.2017 19:31:45
2	Трубопровод обвязки компрессора 2 каскада	Деграция машин и конструкций	Продукции	Закрытая	admin	15.03.2017 19:31:57
3	Деграция машин	Нефтехимия	Онтология	Открытая	admin	15.03.2017 19:32:05

Below the table, a blue box labeled 'Редактор мета-моделей' points to a metamodel editor. The editor shows a diagram with several classes: EventTree, CauseEffectRelation, InitialEvent, Effect, Cause, Event, and Parameter. Relationships between these classes are shown with arrows and labels like 'EventTree-to-CauseEffectRelation', 'CauseEffectRelation-to-Effect', etc. The diagram is enclosed in a blue border.

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.

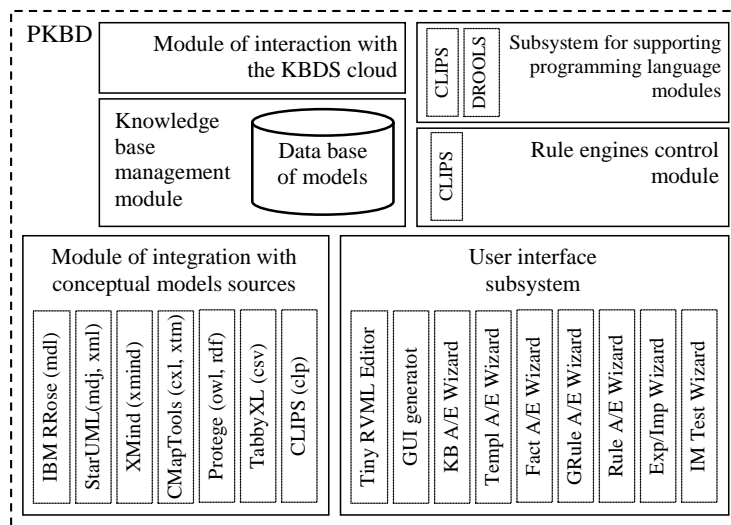


Рис. 20. Архитектура PKBD

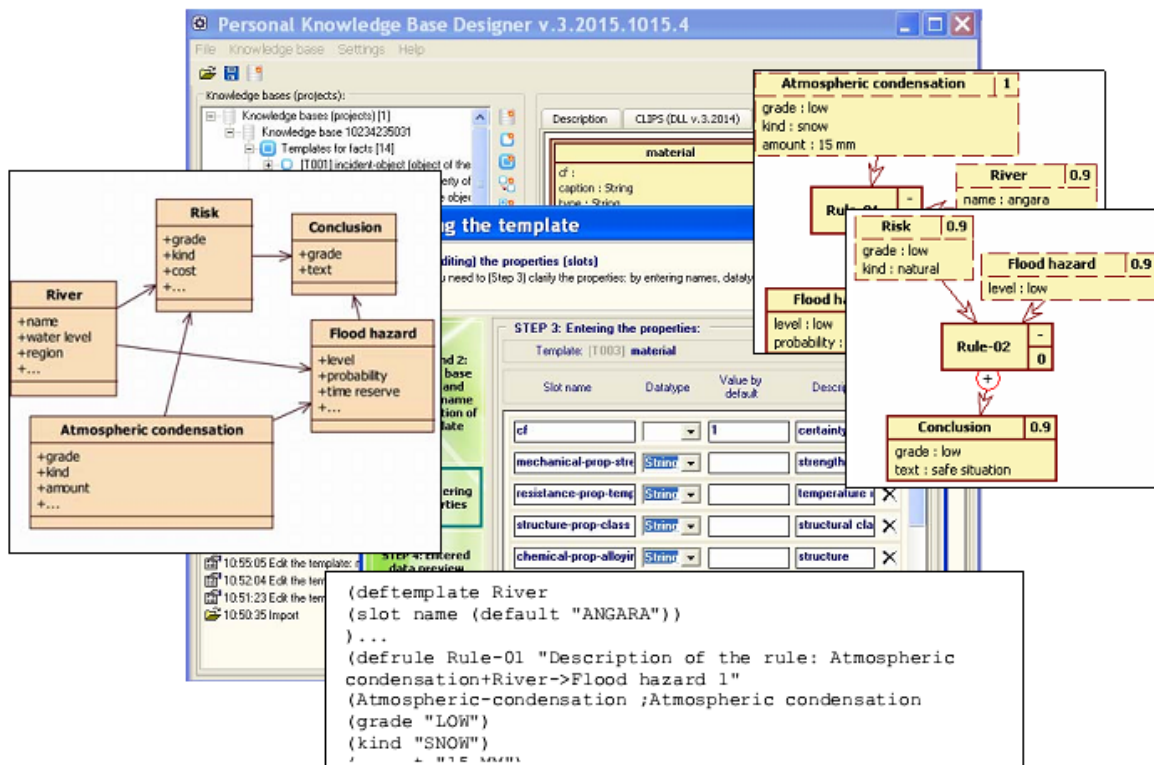


Рис. 21. Пример создания баз знаний на основе трансформации концептуальных моделей

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.

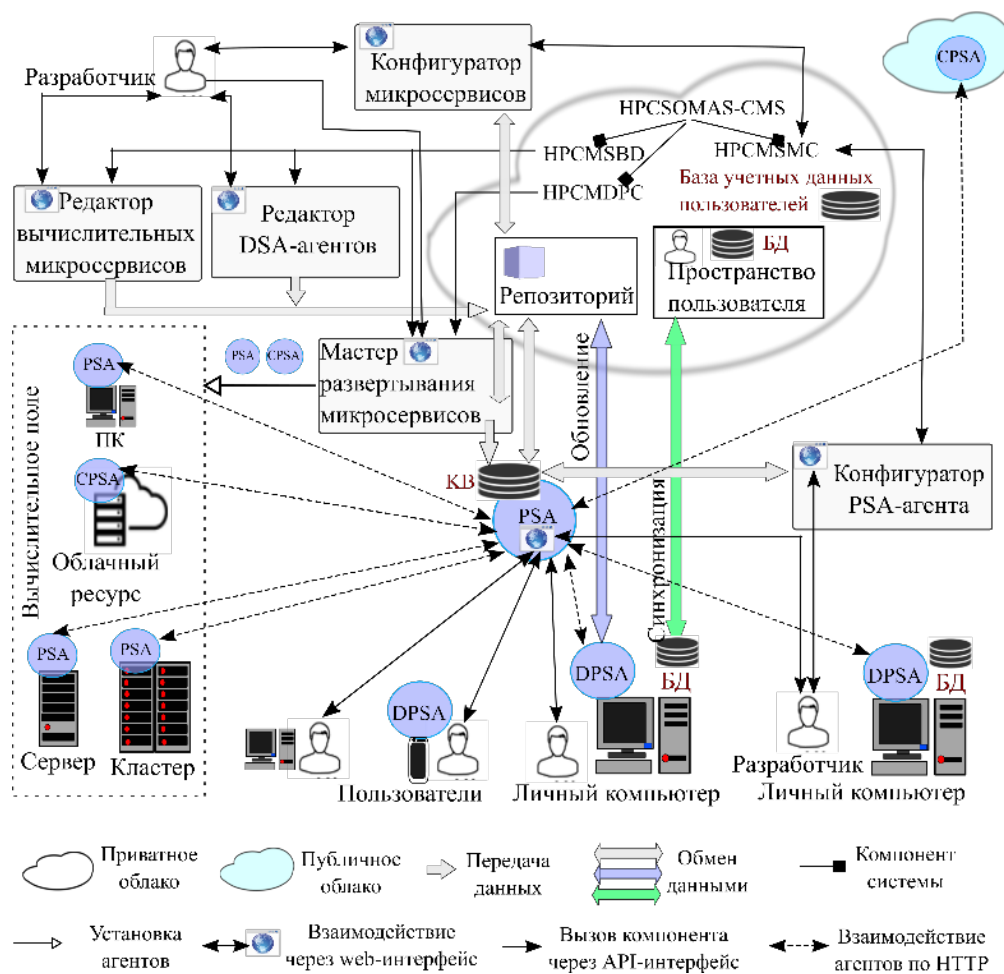


Рис. 22. Архитектура HPCSOMAS-CMS

*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.

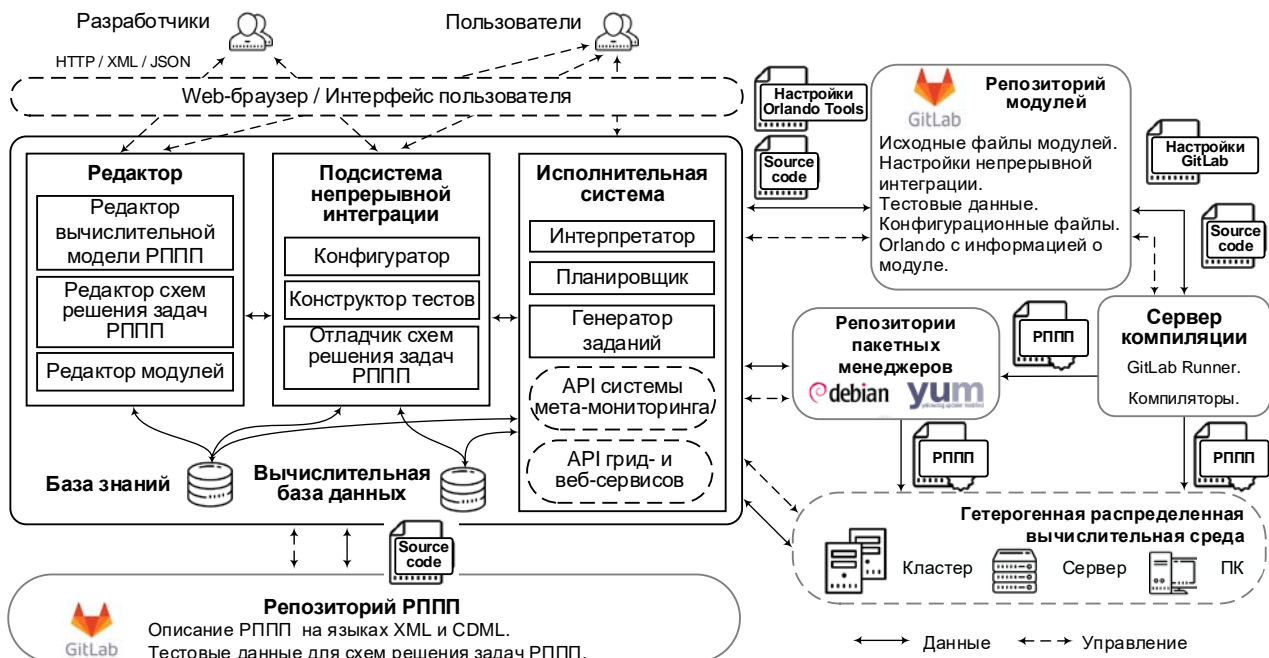


Рис. 23. Схема непрерывной интеграции программного обеспечения научных приложений

Авторы: к.т.н. А.Г. Феохтистов, 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.

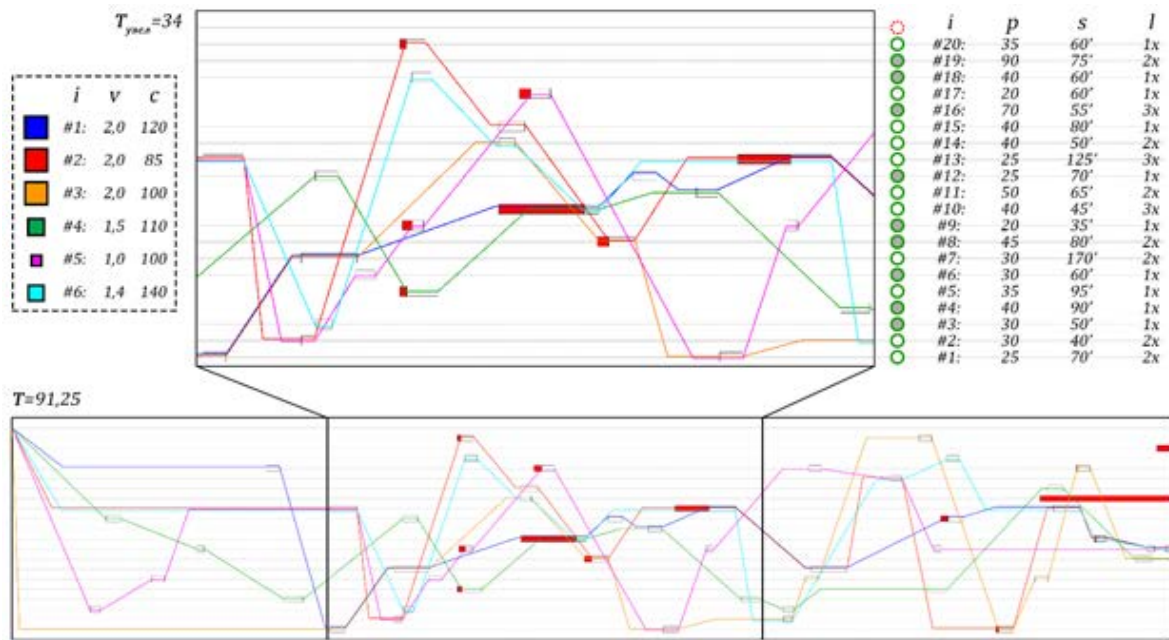


Рис. 24. Графическое представление маршрута в условиях высокой разнородности целей

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

## 9. Новый метаэвристический алгоритм, ориентированный на решение задач псевдодвоулевой 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 ( $\mu$ -сопряженной с  $f$ ) в специальном пространстве  $D$  ( $\mu$ ). Каждое новое отображение вида  $\mu$  задает новое пространство  $D$  ( $\mu$ ), 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  $\mu$  (склеивающие отображения, merging mapping), может быть использован совместно с известным эволюционным алгоритмом (1+1)-EA ((1+1)-Evolutionary Algorithm). Получаемый в результате

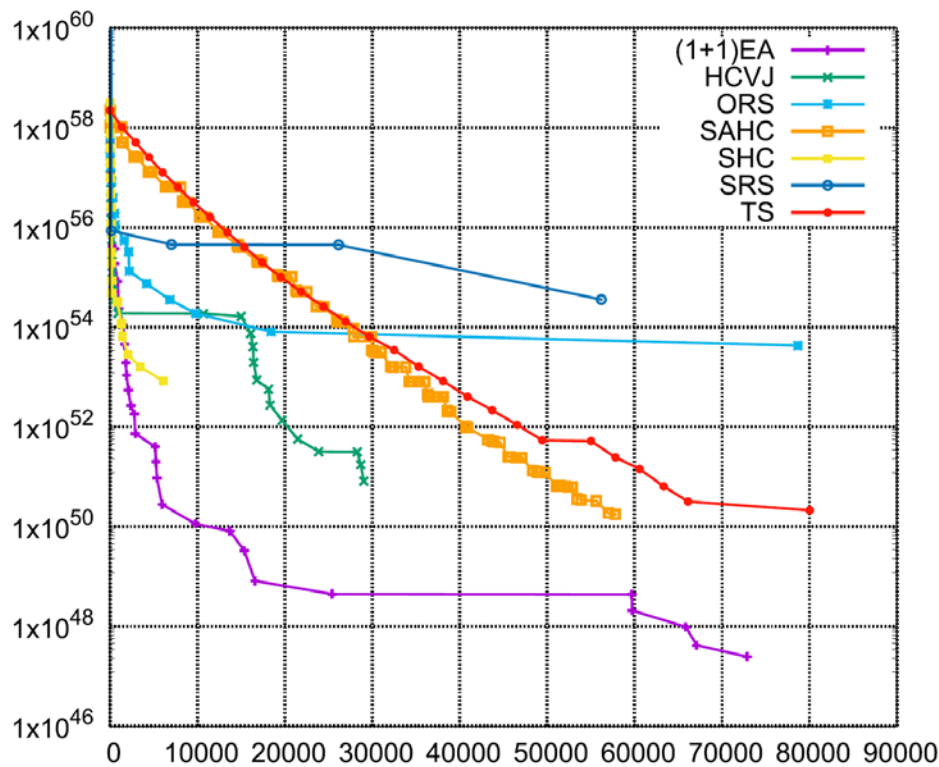


эволюционный алгоритм (1+1)-MVEA ((1+1)-Merging Variable Evolutionary Algorithm) сохраняет важные базовые свойства (1+1)-EA, однако имеет асимптотически лучшую верхнюю оценку сложности.

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



Для проведения вычислительных экспериментов использовался вычислительный кластер «Академик В.М. Матросов» Иркутского СКЦ.

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

### **11. Новые условия глобальной оптимальности и глобальный поиск в невыпуклых задачах оптимизации**

Для общей задачи математической оптимизации, где целевая функция и ограничения типа равенства и неравенства заданы d.c. 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.

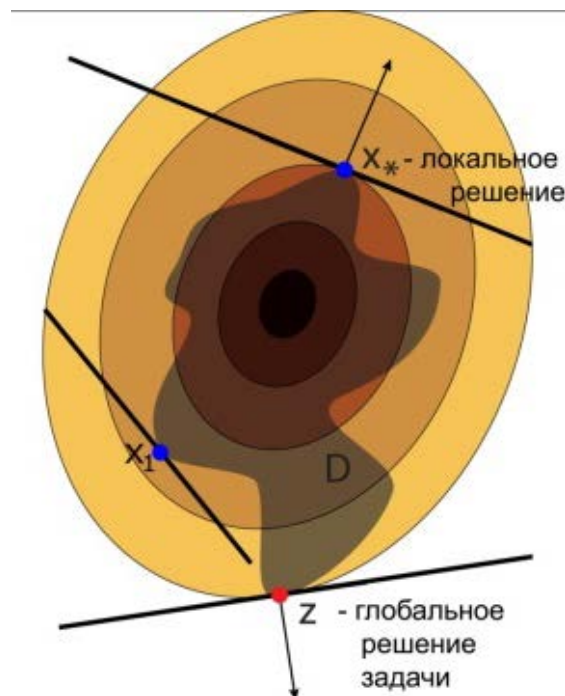


Рис. 26. Графическая иллюстрация условий глобальной оптимальности

*Автор: д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский*