



## **ВАЖНЕЙШИЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

### **Приоритетное направление 1. Теоретическая математика**

#### **1. Теоремы существования для полиэдральных процессов выметания с невыпуклыми возмущениями.**

В сепарабельном гильбертовом пространстве рассмотрены полиэдральные процессы выметания с многозначными возмущениями, значениями которых являются невыпуклые неограниченные множества. Для таких процессов доказано существование решений. Отметим, что полиэдральные процессы выметания не удовлетворяют традиционным условиям, гарантирующим существование решений для выпуклых процессов выметания. В частности, широко используемое требование липшицевости многозначного возмущения потребовалось заменить на более слабое условие –  $(\rho - H)$ -липшицевости.

*Автор: чл.-к. РАН А.А. Толстоногов.*

#### **2. Необходимое условие глобальной оптимальности для задач управления с терминальными ограничениями типа равенства и неравенства в предположении выпуклости годографа системы.**

Полученное условие базируется на позиционных управлениях спуска относительно негладкого параметрического лагранжиана задачи, отражающего как меру нарушения минимума на каждом процессе, так и меру нарушения терминальных ограничений (попадания на целевое множество). Примечательно, что обсуждаемое позиционное условие оптимальности использует возмущенное решение сопряженной системы оптимального процесса и вспомогательный функционал присоединенной задачи, которые строятся по стандартной терминальной функции Лагранжа (а не модифицированной), со стабилизирующим слагаемым (квадратом отклонения от оптимальной траектории с малым параметром). Аналогичные конструкции возникают в другом методе доказательства позиционного принципа минимума, основанном на методе штрафных оценок (в задачах с ограничениями типа равенства). Это свидетельствует о независимости конечного результата от метода снятия терминальных ограничений. Вместе с тем отмечается, что результат имеет тестовый (проверочный) характер, он может указывать на неоптимальность данного процесса, но не содержит регулярного метода его улучшения в силу негладкости параметрического лагранжиана (верхней огибающей терминального лагранжиана задачи по нормированным наборам неопределенных множителей Лагранжа).

*Автор: д.ф.-м.н. В.А. Дыхта.*

#### **3. Технология численного решения функционально-дифференциальных уравнений точечного типа.**

Функционально-дифференциальные уравнения точечного типа (ФДУТТ) являются регулярным расширением класса обыкновенных дифференциальных уравнений и включают как частные случаи, дифференциальные уравнения с «запаздыванием» и «опережением», так и другие, более сложные варианты динамических систем с отклоняющимся аргументом. Интерес к таким моделям существенно возрос в последние годы, с применением ФДУТТ моделируются многие процессы в экономике, биологии, технике, социологии, медицине и других научно-технических областях, но численные методы исследования моделей подобного класса развиты не так хорошо как глубоко проработанная теоретическая база. Для



решения вспомогательных невыпуклых задач оптимального управления в рамках представленного подхода разработана специальная модификация метода Лууса-Яколы. Проведены серии вычислительных экспериментов, продемонстрировавшие эффективность разработанной вычислительной технологии. В качестве примера приведем следующую систему функционально-дифференциальных уравнений точечного типа:

$\dot{x}_1(t) = x_2(t)$ ,  $\dot{x}_2(t) = \frac{1}{2}[x_1(t-1) - x_1(t \cdot t)]$ ,  $x_1(0) = 0$ ,  $x_2(0) = 1$ ,  $t \in [0,2]$ ;  $\dot{x}_1(t) = \cos t$ ,  $\dot{x}_2(t) = \sin t$ ,  $t \in [-1,0]$ ;  $\dot{x}_1(t) = \cos t$ ,  $\dot{x}_2(t) = \sin t$ ,  $t \in [2,4]$ , результат численного решения которой представлен на рис. 1:

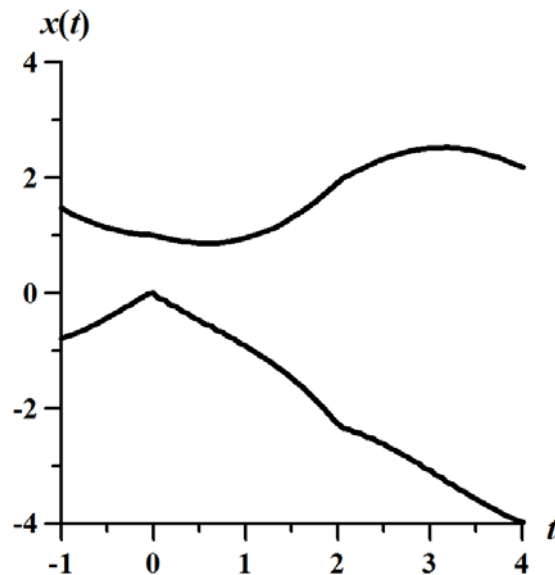


Рис. 1. Траектории системы в тестовой задаче 1 ( $x_1^*(t)$  – нижний график,  $x_2^*(t)$  – верхний график)

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

#### **4. Новый метод расчета управлений переориентацией космических аппаратов.**

Впервые в практике управления ориентацией автоматических космических аппаратов (КА) получены законы программного управления не содержащие сингулярных состояний исполнительной гиросистемы и потому исполняемые гироскопами безостановочно. Таким образом, была решена более полувекового возраста известная проблема сингулярности, поставленная в работах американских специалистов по управлению КА в середине 1960-го года. Предложенный новый метод быстрого расчета управлений переориентацией КА, обеспечил эффективную высокоточную реализацию вычисленных управлений системой коллинеарных пар однокарданных безупорных силовых гироскопов (гиродинов). Новизну метода составляет виртуальное кинематическое конфигурирование гиросистемы – немеханическое связывание прецессий гирузлов коллинеарных пар гиродинов, и использование на этапе расчёта управления кинетического момента КА в качестве переменной состояния. Также впервые в качестве инструмента управления аппаратом используется суммарный кинетический момент гироскопов гиросистемы в их движении относительно несущего корпуса КА. Тогда как расчетчиками управлений, исповедующими идеологию прямой ньютоновской задачи динамики (определение действующих сил по известному движению), за инструмент управления по сей день используется локальная



производная этого момента. А это дифференцирование кинетического момента гиросистемы с целью вычисления законов управления порождает её сингулярные состояния.

*Автор: д.т.н. Э.И. Дружинин.*

**5. Волновое уравнение четвертого порядка в теории Баба-Мадхаварао для частиц со спином 3/2.**

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 ( $q$  – примитивный корень четвертой степени из единицы) и новый набор матриц  $\eta_\mu$  вместо исходных  $\beta_\mu$ -матриц. Были детально исследованы различные коммутационные соотношения  $\eta$ -матриц и на их основе рассмотрено построение корня четвертой степени волнового оператора четвертого порядка для частицы со спином 3/2. Для данного построения был предложен дифференциальный оператор первого порядка, сингулярный по параметру деформации. Было проведено соответствующее обобщение полученных результатов на случай присутствия в системе внешнего электромагнитного поля и рассмотрен вопрос о возможном приложении данного формализма к задаче построения в рамках теории Баба-Мадхаварао представления в виде континуального интеграла по траекториям в парасуперпространстве для пропагатора массивной заряженной частицы со спином 3/2 во внешнем электромагнитном поле.

*Авторы: д.ф.-м.н. Ю.А. Марков, д.ф.-м.н. М.А. Маркова.*

**6. Диссоциация пионов и каонов в горячей, плотной кварковой материи.**

В рамках подхода Бет-Уленбека на основе модели Намбу-Йона-Лазинио с петлями Полякова рассмотрена эволюция как связанных состояний, так и состояний рассеяния. Оценены зависимости от температуры и химического потенциала фазовых сдвигов для псевдоскалярных, скалярных изовекторных мезонных каналов для ароматов кварков  $N_f = 2+1$ . Показано, что изменение характера псевдоскалярных связанных состояний при температуре перехода Мотта сигнализируется скачком фазового сдвига на пороге от  $\pi$  до нуля в соответствии с теоремой Левинсона. Показана важность учета состояний рассеяния континуума, что гарантирует исчезновение полного фазового сдвига в каждом из мезонных каналов при высоких энергиях. Таким образом, данный подход обеспечивает унифицированное описание перехода от мезонного газа к кварк-глюонной плазме. Обсуждается возникновение аномальной моды для мезонов, состоящих из кварков с неравными массами, и возможное отношение данной моды к объяснению эффекта пика в отношении  $K^+/\pi^+$  в столкновениях тяжелых ионов.

*Автор: к.ф.-м.н. А.Е. Раджабов*

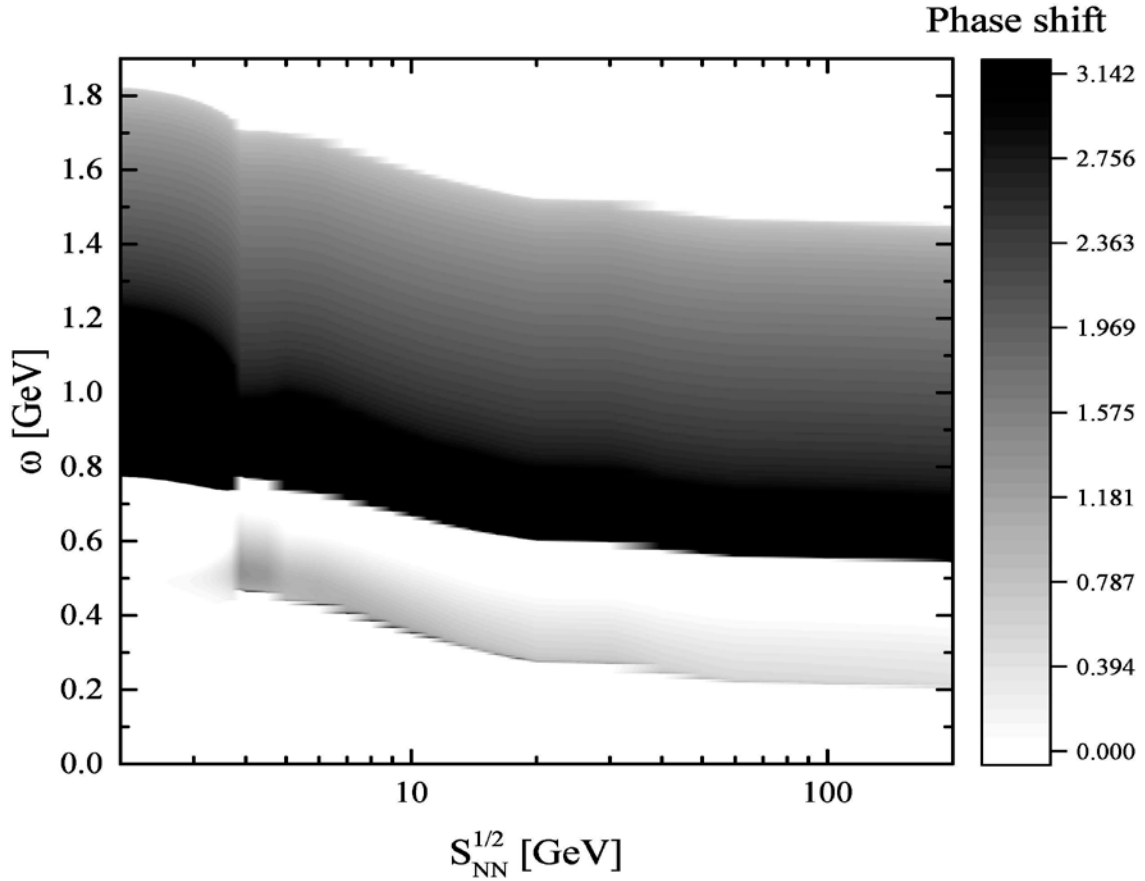


Рис. 2. График энергетической зависимости ( $\omega$ ) фазовых сдвигов для положительно заряженного каона вдоль линии химического замораживания ("freeze out") фазовой диаграммы параметризованной с помощью энергии столкновения тяжелых ионов в системе центра масс. При этом возникает дополнительное квази-связанное состояние с малой массой, которое является заметным в области энергий эффекта пика в отношении  $K^+/\pi^+$



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

**1. Событийный подход к многорежимному управлению группировкой подводных роботов в обследовательской миссии.**

Разработан подход к построению двухуровневой системы управления группировкой автономных подводных роботов (АПР) при обследовании придонной области, включающей регуляторы нижнего уровня для обеспечения требуемого поведения группы в различных режимах и основанный на дискретно-событийной системе регулятор верхнего уровня, ответственный за переключение режимов. Совокупность моделей, методов и алгоритмов, используемых в рамках данного подхода, позволяет в комплексе учитывать многие аспекты функционирования роботов в реальной подводной среде, формировать сложное поведение группы и автоматизировать многие этапы построения надежных систем управления группой АПР.

Авторы: ак. И.В. Бычков, А.В. Давыдов, к.ф.-м.н. Н.В. Нагул,  
к.т.н. С.А. Ульянов

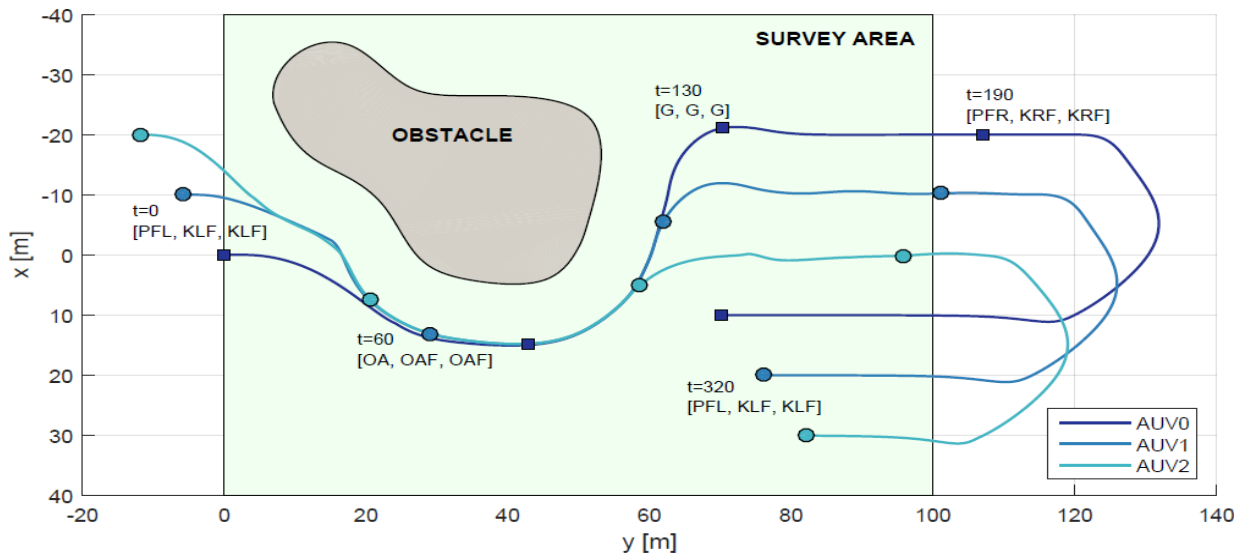


Рис. 3. Результаты численного моделирования построенной децентрализованной гибридной системы управления группой АПР

**2. Технология имитационного моделирования систем массового обслуживания в Grid.**

Разработаны новые инструментальные средства автоматизации имитационного моделирования систем массового обслуживания (СМО) в Grid. Технология базируется на интеграции методов концептуального, каркасного и сервис-ориентированного программирования, а также мультиагентного управления, организации многовариантных расчетов и многокритериальной оптимизации. В отличие от известных, технология обеспечивает комплексную автоматизацию всех этапов моделирования. Технология успешно апробирована (рис. 4) при решении следующих задач: реорганизации структуры клиентов (задача 1); увеличения и балансировки суточного товарооборота (задача 2); увеличения дохода от сдачи в аренду объектов коммерческой недвижимости (задача 3).



*Авторы: ак. И.В. Бычков, д.т.н. Г.А. Опарин, к.т.н. А.Г. Феохтистов,  
к.т.н. В.Г. Богданова, А.А. Пашинин, Ю.А. Дядькин.*

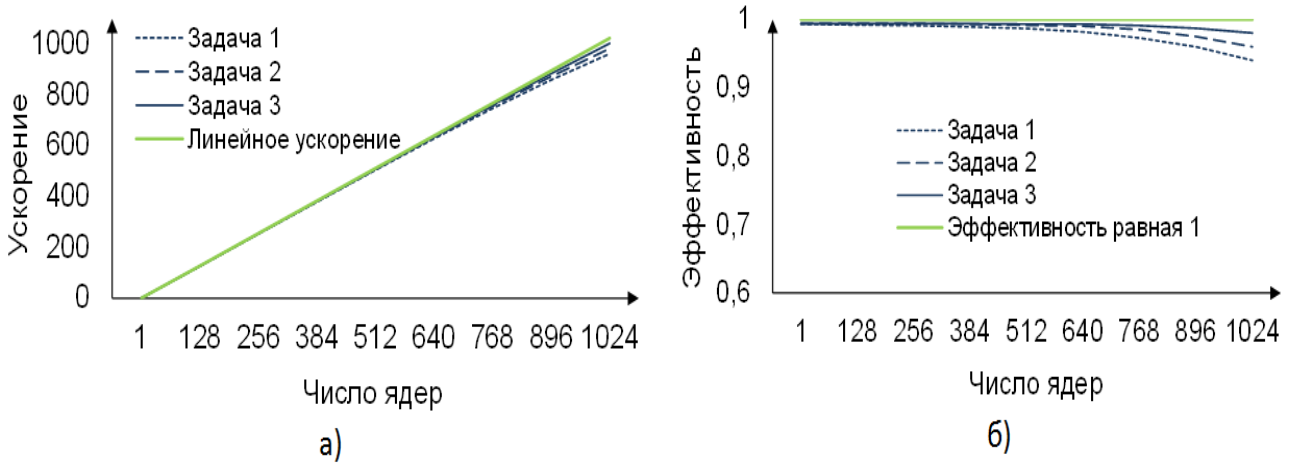
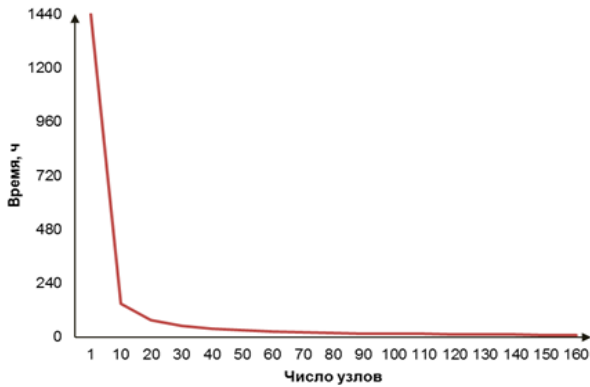


Рис 4. Ускорение вычислений (а) и эффективность использования ресурсов (б) при решении задач

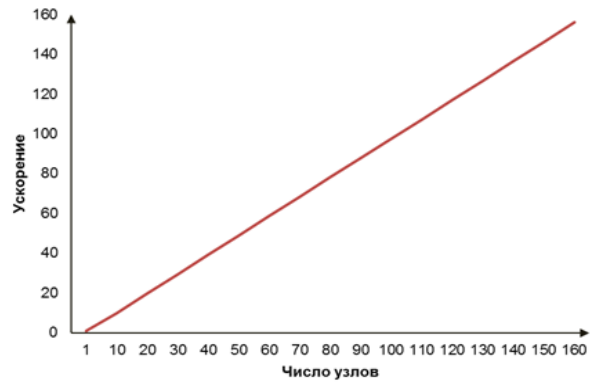
### **3. Инструментальные средства организации вычислений в Grid с виртуализированными ресурсами.**

Разработаны новые инструментальные средства организации вычислений в Grid с виртуализированными ресурсами, базирующиеся в отличие от известных, на интегрированном применении методов и средств инженерии знаний, концептуального моделирования, мультиагентных технологий, а также методов оценки надежности и распределения вычислительных ресурсов на основе рыночных механизмов регулирования спроса и предложения. Средства успешно применены при решении задачи исследования развития топливно-энергетического комплекса Вьетнама (рис. 5).

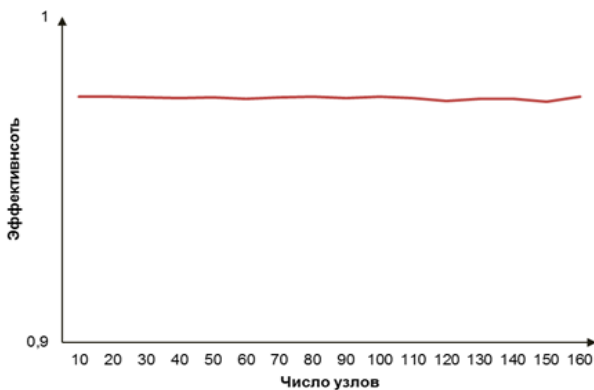
*Авторы: ак. И.В. Бычков, к.т.н. А.Г. Феохтистов, к.т.н. И.А. Сидоров,  
к.т.н. С.А. Горский, Р.О. Костромин.*



а)



б)



в)

Число исследуемых состояний ТЭК: 531442.  
Время решения задачи на 1 ядре: свыше 1440 часов.  
Среднее время оценки 1 состояния ТЭК: ~ 10 секунд.  
Накладные расходы на виртуализацию: ≤ 5%.  
Общее время решения задачи: ~ 9 ч.

г)

Рис 5. Время решения задачи (а), ускорение вычислений (б),  
эффективность использования ресурсов (в) и характеристики вычислительного процесса (г)

#### 4. Метод и программное средство визуализации результатов имитационного моделирования на основе онтологии.

Разработан метод и программное средство визуализации результатов имитационного моделирования, в основе которых лежит использование онтологий для описания как самой визуализируемой области, так и правил ее трехмерного отображения, включая этапы: онтологического моделирования, создания визуальных объектов, формирования правил описания сцены, генерации программного кода, визуализации, организации обмена данными между средством визуализации и источником данных. Использование метода и средства позволяет непрограммирующему пользователю формировать описание процесса/явления в виде трехмерной сцены в терминах предметной области, абстрагируясь от написания программного кода.

Авторы: д.т.н. О.А. Николайчук, к.т.н. А.И. Павлов, С.А. Коршунов.

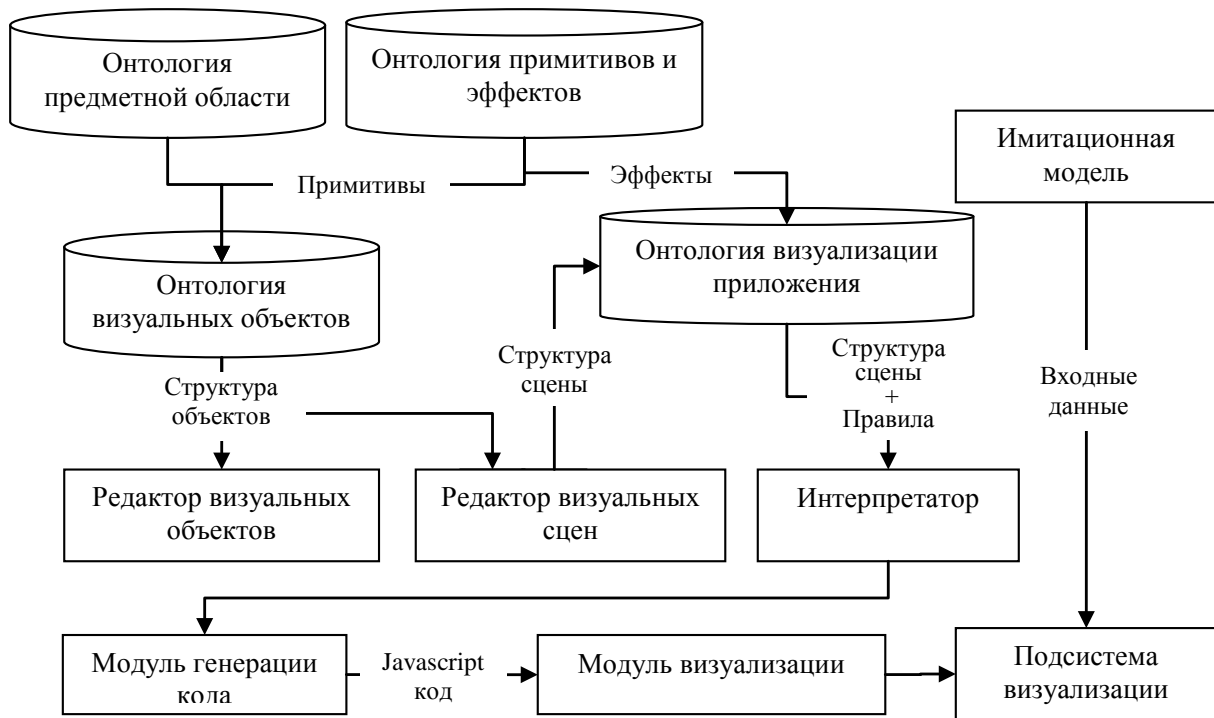


Рис. 6. Архитектура программного средства визуализации

## 5. Предметно-ориентированный язык правил анализа и интерпретации произвольных электронных таблиц.

В рамках развития технологий обработки неструктурированных данных для выражения правил анализа и интерпретации таблиц разработан язык CRL (Cells Rule Language). По сравнению с известными языками трансформации данных CRL позволяет выстраивать процесс трансформации как последовательность шагов автоматического понимания таблиц: их ролевого анализа, структурного анализа и интерпретации. В отличие от языков правил общего назначения CRL позволяет фокусироваться на предмете (понимании таблиц), скрывая несущественные детали.

Авторы: к.т.н. А.О. Шигаров, А.А. Михайлов,  
к.т.н. В.В. Парамонов, А.А. Алтаев.





```
rule      = 'rule' <a Java integer literal> 'when' condition 'then' action 'end' <EOL> {rule} <EOF>
condition = query identifier [':' constraint {' constraint'} [',' assignment {' assignment'}]
           <EOL> {condition}
constraint = <a Java boolean expression>
assignment = identifier ':' <a valid Java expression>
query      = 'cell' | 'entry' | 'label' | 'category' | 'no cells' | 'no entries' | 'no labels' |
           'no categories'
action     = merge | split | set text | set indent | set mark | new entry | new label | add label |
           set parent | set category | group <EOL> {action}
merge     = 'merge' identifier 'with' identifier
split     = 'split' identifier
set text  = 'set text' <a Java string expression> 'to' identifier
set indent = 'set indent' <a Java integer expression> 'to' identifier
set mark  = 'set mark' <a Java string expression> 'to' identifier
new entry = 'new entry' identifier ['as' <a Java string expression>]
new label = 'new label' identifier ['as' <a Java string expression>]
add label = 'add label' identifier | (<a Java string expression> 'of' identifier |
           <a Java string expression>) 'to' identifier
set parent = 'set parent' identifier 'to' identifier
set category = 'set category' identifier | <a Java string expression> 'to' identifier
group      = 'group' identifier 'with' identifier
identifier = <a Java identifier>
```

Рис. 7. Описание грамматики языка CRL в расширенной форме Бэкуса-Наура

## **6. Планирование расписаний воздушных транспортных средств.**

Исследована задача планирования порядка следования и расписаний взлетов и посадок воздушных транспортных средств в условиях аэропорта с одной взлетно-посадочной полосой. Предложены новые формулировки с дискретным временем в виде задач целочисленного линейного программирования, предложены новые семейства правильных неравенств, а также процедуры фиксирования переменных и лифтинга. С использованием полученных результатов разработан точный метод решения, эффективность которого продемонстрирована в ходе вычислительного эксперимента на реальных данных крупных загруженных европейских аэропортов.

*Автор: к.ф.-м.н. И.Л. Васильев.*

## **7. Новая система пропозиционального вывода.**

Построена новая система пропозиционального вывода (propositional proof system), основанная на использовании техники т.н. «двухрельсового кодирования» (Dual Rail Encoding, DRE). Доказано, что в рамках системы доказательств, основанной на DRE, невыполнимость известных формул Дирихле доказывается за полиномиальное время. Следствием этого является тот факт, что новая система доказательств оказывается более мощной, чем общая резолюция.

*Автор: к.ф.-м.н. А.С. Игнатьев.*