



РЕЗУЛЬТАТЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОГРАММЕ РАН

В соответствии с Планом НИР и Государственным заданием на 2016 год выполнялись исследования по 8 базовым темам в рамках 4 приоритетных направлений Программы фундаментальных исследований государственных академий на 2013-2020 годы:

I. Математические науки

Приоритетное направление 1. Теоретическая математика

Тема I.1.4.1. (0348-2014-0001) Качественный и численный анализ гетерогенных систем

№ гос. регистрации: 01201351947

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

Исследованы асимптотические свойства неавтономных систем в форме аналогов принципа инвариантности Ла-Салля, на основе которых получены теоремы о локализации правых предельных множеств дифференциальных уравнений с разрывной правой частью при наличии запаздывания. Как следствие изучены условия асимптотической устойчивости таких систем. Метод предельных уравнений распространен на более широкие классы разрывных уравнений, что в сочетании с прямым методом Ляпунова дает новые возможности качественного анализа решений исходных неавтономных разрывных систем (*автор: д.ф.-м.н. И.А. Финогенко*).

Рассмотрены линейные гибридные системы уравнений с вырожденной матрицей при непрерывной составляющей неизвестной функции. Получены необходимые и достаточные условия разрешимости начальной и начально-краевой задачи, а также условия согласования начальных и начально-краевых данных для вырожденных гибридных систем. Получены необходимые и достаточные условия управляемости и наблюдаемости в пределах множества достижимости, в частности, в терминах матриц управляемости и наблюдаемости, вырожденных гибридных систем (*автор: к.ф.-м.н. П.С. Петренко*).



Исследована система, состоящая из обыкновенного дифференциального уравнения и дифференциального включения, моделирующая процессы с гистерезисом и запаздыванием. Несмотря на тот факт, что уже достаточно простая модель автомобильного термостата включает в себя эффект гистерезиса и запаздывание, в литературе практически не рассматривались работы, доказывающие в общих предположениях существование и единственность решений для (даже неуправляемых) систем, сочетающих гистерезисное поведение и запаздывание. Для рассмотренной (управляемой) системы доказано существование, некоторые топологические свойства и единственность при фиксированном управлении решений (*автор: к.ф.-м.н. С.А. Тимошин*).

Рассмотрена задача оптимального управления параметризованным семейством динамических систем (в литературе такие семейства, как правило, называют ансамблями). Классическим примером конечного ансамбля является набор из нескольких маятников, прикрепленных к тележке. Сила, приложенная к тележке, влияет одновременно на все маятники и играет роль управления. Бесконечные ансамбли (возникающие, например, в теории электромагнитного резонанса) представляют гораздо больший интерес, поскольку классические результаты теории управления к ним неприменимы. В рамках базового проекта были выведены необходимые условия оптимальности для задачи оптимального управления бесконечным ансамблем, в котором множество параметров является пространством с мерой (*автор: к.ф.-м.н. Н.И. Погодаев*).

На основе преобразования системы дифференциально-алгебраических уравнений (ДАУ) к структурной форме, эквивалентной исходной системе в смысле решений, получены значения радиусов устойчивости нулевого положения равновесия для семейства систем ДАУ индекса неразрешенности 1 и 2 и систем ДАУ произвольно высокого индекса неразрешенности с линейно входящими возмущениями. Доказано, что в стационарном случае достаточным условием существования структурной формы является регулярность матричного пучка системы. Показана связь между индексом матричного пучка,



порядком линейного дифференциального оператора, преобразующего исходные ДАУ к структурной форме, и индексом неразрешенности (*авторы: д.ф.-м.н. А.А. Щеглова, А.Д. Кононов*).

Рассмотрена модель гидравлической цепи пароводяного тракта прямооточного котла в виде системы интегро-дифференциальных уравнений с вырожденной матрицей перед производной искомой вектор-функции. Сформулированы условия разрешимости полученной системы, в рамках которых для ее численного решения предложена разностная схема первого порядка. Экспериментальные результаты показали, что теория вырожденных систем интегро-дифференциальных уравнений хорошо работает при моделировании процессов, протекающих в гидравлических системах (*авторы: д.ф.-м.н. В.Ф. Чистяков, к.ф.-м.н. Е.В. Чистякова*).

Рассмотрена возможность применения методов теории гидравлических цепей для интерактивного моделирования гидрогазодинамических и тепловых процессов в оборудовании тепловых электрических станций. Сформулирована постановка задачи расчета потокораспределения в трактах энергоустановок с различными законами падения давления на ветвях в сложных газовоздушных и пароводяных трактах. Показано, что применение традиционных способов расчета потокораспределения методами теории гидравлических цепей затруднительно для задач. Исследованы некоторые аспекты разрешимости соответствующих систем нелинейных уравнений. Рассмотрены численные методы решения этих систем применительно к задачам, требующим выполнения расчетов в масштабе реального времени. Предложена расчетная схема, позволяющая свести исходную постановку задачи к классической схеме метода узловых давлений. Рассмотрен способ декомпозиции структуры гидравлической цепи на взаимосвязанные цепи меньшей размерности для уменьшения вычислительных затрат. Тестирование показало высокую надежность разработанного способа расчета потокораспределения (*авторы: д.ф.-м.н. В.Ф. Чистяков, к.ф.-м.н. Е.В. Чистякова*).



**Тема I.1.4.2. (0348-2014-0002) Качественные и численные методы анализа
нелокальных задач теории управления**

№ гос. регистрации: 01201351946

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

Разработана унифицированная схема доказательства вариационных необходимых и достаточных условий глобальной оптимальности для задач оптимизации дискретных и дискретно-непрерывных процессов без терминальных и многоточечных (промежуточных) фазоограничений. Схема основана на точных формулах приращения целевого функционала и генерируемых ими позиционных управлениях, причем используемые конструкции не выходят за рамки формализма принципа максимума Понтрягина (хотя схема позволяет усиливать последний в части необходимости и ослабляет в части достаточности) (*автор: д.ф.-м.н. В.А. Дыхта*).

Получены нелокальные точные формулы приращения функционала в указанных классах задач, естественным образом приводящие к системам условий оптимальности в рамках конструкций, близких к принципу максимума (*автор: д.ф.-м.н. В.А. Дыхта*).

Получена принципиальная схема решения невыпуклой линейно-квадратичной задачи дискретной динамической оптимизации, использующая позиционные управления спуска, которые строятся в соответствии с методом модифицированных лагранжианов с линейными слабо монотонными мажорантами целевого функционала задачи (*авторы: к.ф.-м.н. С.П. Сорокин, к.т.н. В.А. Воронов*).

Получены необходимые условия оптимальности первого порядка в форме импульсного принципа максимума для задач оптимального управления гибридными динамическими системами с импульсами высоких степеней. Полученный результат может быть использован для аналитического исследования некоторых гибридных процессов, возникающих в механике, таких как управление с помощью подвижных ограничений и блокирования степеней свободы (*авторы: к.ф.-м.н. М.В. Старицын, к.ф.-м.н. Е.В. Гончарова*).



Получены условия оптимальности для негладких задач оптимального импульсного управления с траекториями ограниченной вариации при наличии промежуточных фазовых ограничений (*автор: к.ф.-м.н. О.Н. Самсонюк*).

Разработан программный комплекс для поиска минимума невыпуклых функционалов, определенных на решениях релейных управляемых систем. Реализованы параллельные алгоритмы численного решения задач управления в классе релейных управляющих воздействий с применением технологии OpenMP. Сформирована коллекция тестовых задач исследуемого класса и выполнены многовариантные вычислительные эксперименты по исследованию свойств реализованного программного инструментария (*авторы: д.т.н. А.Ю. Горнов, к.т.н. Т.С. Зароднюк, А.С. Аникин*).

Разработан программный комплекс для решения задач фазового оценивания в нелинейных управляемых системах с линейным входом управляющих воздействий. С применением технологии CUDA на языке C++ реализован набор параллельных алгоритмов оценки множества достижимости, основанных на методике стохастической аппроксимации. Произведено тестирование предложенных алгоритмов и получены оценки коэффициентов ускорения для ряда модельных задач (*авторы: д.т.н. А.Ю. Горнов, А.С. Аникин, Е.А. Финкельштейн*).

Разработан программный комплекс для поиска глобального экстремума в параметрически управляемых нелинейных динамических системах. Реализован набор эвристических нелокальных алгоритмов поиска экстремума и отработана основанная на нем многометодная технология оптимизации. Произведена экспериментальная апробация предложенных алгоритмов и решен ряд задач параметрической идентификации моделей из области робототехники, медицины, энергетики и сейсмологии (*авторы: д.т.н. А.Ю. Горнов, к.т.н. Т.С. Зароднюк, А.С. Аникин, Е.А. Финкельштейн*).



Тема I.1.4.3. (0348-2014-0003) Математические проблемы динамики и управления движущимися объектами в различных режимах

№ гос. регистрации: 01201351952

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

Получен новый конструктивный метод расчета по конечным формулам начального программного управления для гиросистем, составленных из пар однокарданных силовых гироскопов с коллинеарными осями прецессии их гиروزлов. Управление предназначено для реализации разработанного автором ранее итерационного процесса расчета программных управлений переориентацией нежестких космических аппаратов (КА), исполняемых без остановок в отличие от управлений, вычисляемых традиционно по технологии, основанной на априорном задании закона движения КА при переориентации (*автор: д.т.н. Э.И. Дружинин*).

Для больших космических конструкций, которые из-за своих размеров и больших нагрузок, возникающих при запуске, собираются непосредственно на орбите, создан новый метод построения структурно устойчивых динамических моделей, обеспечивающих с заданной точностью необходимые динамические свойства всего локального семейства моделей, определяемого неточностью значений параметров. Метод построения таких моделей заключается в корректировке аналитической модели на основе результатов предварительной идентификации по данным о состоянии конструкции в условиях эксплуатации. Разработанный инструмент формирования моделей обеспечивает их малую чувствительность к ошибкам идентификации, корректировки аналитической модели, а также к ошибкам технологии реализации проекта. Такие модели позволят с необходимой точностью прогнозировать динамические эффекты реального КА (*автор: д.т.н. Э.И. Дружинин*).

Проведен параметрический анализ полученных ранее в 2013-15 гг. условий гироскопической стабилизации неустойчивых равновесий вытянутого и сплюснутого осесимметричных орбитальных гироскопов. В качестве основного



параметра выбрана одна из двух ненулевых компонент постоянного вектора гиростатического момента системы.

Сформулированы утверждения о количестве вещественных корней полинома восьмой степени (дискриминант характеристического уравнения) в области с четной степенью неустойчивости, а также об интервалах значений указанного параметра, которые являются решением соответствующей системы неравенств. Результаты исследования получены в аналитическом виде и путем проведения численного эксперимента с графической интерпретацией (*автор: к.ф.-м.н. А.В. Банищikov*).

Развиты результаты по качественной теории идентификации с привязкой к гиперболическим системам. Цель работы – формулировка необходимых и достаточных условий реализации нестационарного полилинейного регулятора гиперболической системы, содержащей в качестве допустимых решений неограниченный по мощности (конечный, счетный или даже континуальный) пучок нелинейных управляемых динамических процессов в сепарабельном гильбертовом пространстве. Наличие полилинейного регулятора принципиально отличает данную задачу от рассмотренных ранее, развитые при этом методы для гиперболических систем носят пионерский характер, которые, возможно, позволят их применить также для других задач качественной теории идентификации с различными нелинейными регуляторами и для разнообразных, не только гиперболических, систем. Для различных вариантов (конечный / счетный / континуальный) мощности пучка бесконечномерных нелинейных управляемых динамических процессов доказаны теоремы (необходимые и достаточные условия) реализации полилинейного регулятора гиперболической системы, содержащей исследуемый пучок в сепарабельном гильбертовом пространстве (*автор: д.ф.-м.н. В.А. Русанов*).

Разработан алгоритм идентификации параметров модели нежесткого гиростата. Алгоритм чувствительности – метод параметрической идентификации моделей в виде системы нелинейных обыкновенных дифференциальных урав-



нений в нормальной форме Коши адаптирован к линеаризованным динамическим моделям многомерных механических систем лагранжевой структуры (в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка). Разработан алгоритм декомпозиции модели чувствительности для исходной модели нежесткого гиростата. Этот алгоритм значительно (в $3n$ раз, где n – размерность исходной модели нежесткого гиростата) сокращает машинное время вычисления функций чувствительности (автор: к.т.н. Ю.И. Огородников).

Доказаны теоремы метода сравнения Матросова об асимптотической устойчивости и других динамических свойствах сложных систем с переключениями и импульсами. Предложены законы управления, стабилизирующие положение равновесия механических систем (автор: к.ф.-м.н. А.А. Косов).

Проведено качественное исследование задач о движении твердого тела и системы твердых тел в нескольких силовых полях с использованием компьютерной алгебры. Найдены стационарные инвариантные многообразия разного уровня и размерности, а также их семейства. Рассмотрены вопросы устойчивости и бифуркаций этих многообразий (авторы: д.ф.-м.н. В.Д. Иртегов, к.ф.-м.н. Т.Н. Титоренко).

Для орбитального гиростата с упругим стержнем в случае, когда взаимным влиянием движения центра масс по орбите и движением системы вокруг него можно пренебречь, найдены все одноосные равновесные ориентации системы на притягивающий центр, получены явные выражения для лагранжевых координат, определяющих деформацию стержня в равновесии, и для гиростатического момента, обеспечивающего наличие у системы таких равновесий (автор: к.ф.-м.н. С.В. Чайкин).

По теореме Красовского об оптимальной стабилизации проведено полное исследование асимптотической устойчивости относительного положения равновесия несимметричного спутника на круговой орбите с помощью трех маховиков или трехосного гироскопа. Применение критерия знакоопределенности многочленов многих переменных выше второго порядка позволило получить



условия асимптотической устойчивости исследуемого стационарного движения на границах области устойчивости (*автор: д.ф.-м.н. М.А. Новиков*).

Тема I.1.4.4. (0348-2014-0004) Методы математической физики в механике сплошных сред, плазме и теории поля

№ гос. регистрации: 01201351949

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

Найдены новые инвариантные решения нелинейного уравнения теплопроводности (фильтрации) при степенной зависимости коэффициента теплопроводности от температуры. Построение сводится к задачам Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений с вырождением, для которых доказана теорема существования и единственности решения в классе аналитических функций в виде сходящегося степенного ряда (*авторы: д.ф.-м.н. А.Л. Казаков, С.С. Орлов*).

Разработан метод томографической реконструкции тензорных полей 2-го ранга, векторных полей (тензоров 1-го ранга) по известным из эксперимента интегральным данным (лучевым преобразованиям) с использованием разложения по тензорным сферическим гармоникам. Для этих целей построены локализованные базисные скалярные и векторные функции, в аналитическом виде вычислены их лучевые преобразования. Доказаны соответствующие леммы и утверждения. Разработанные методы могут быть применены в задачах астрофизики для исследования бессиловых полей, в поляризационной томографии плазмы, в задачах рассеяния и т.д. Представлены результаты численного моделирования, подтверждающие работоспособность методов (*автор: д.ф.-м.н. А.Л. Баландин*).

Развит подход спектрального представления для матричного пропагатора (совокупной функции распространения) системы N взаимодействующих фермионов, включая взаимодействие с нарушением четности (зеркальной симметрии), в котором схема полюсной перенормировки имеет очень простой вид. Использование данного подхода дает возможность построить спиновые проек-



ционные операторы (для всех фермионных степеней свободы), что необходимо для доказательства полноты спектрального разложения (*автор: к.ф.-м.н. В.П. Ломов*).

Получено точное решение системы билинейных тождеств для случая реального грассманово-нечетного тензорного агрегата типа $(S, V_\mu, {}^*T_{\mu\nu}, A_\mu, P)$. Рассмотрена согласованность этого решения с соответствующей системой билинейных тождеств, включающих как данные тензорные переменные, так и их производные $(\dot{S}, \dot{V}_\mu, {}^*\dot{T}_{\mu\nu}, \dot{A}_\mu, \dot{P})$. Обсуждается альтернативный подход к решению алгебраической системы, основанной на введении комплексных тензорных величин. Это решение использовано в построении отображения членов взаимодействия спиновой частицы с внешним (майорановским) фермионным полем $\Psi_{M\alpha}^i(x)$. Предложен путь обобщения полученных результатов для случая дираковских спиноров $(\psi_{D\alpha}, \theta_{D\alpha})$ и внешнего дираковского поля $\Psi_{D\alpha}^i(x)$. Показано, что для построения взаимно-однозначного соответствия наиболее общих спиноров и тензорных переменных необходимо четырехкратное увеличение числа тензорных переменных. Установлена связь с лагранжианами с высшими производными для точечной частицы и, в частности, с лагранжианом, предложенным А.М. Поляковым (*авторы: д.ф.-м.н. Ю.А. Марков, д.ф.-м.н. М.А. Маркова*).

Изучен вклад сильных взаимодействий в аномальный магнитный момент мюона в рамках кварковых моделей. Исследованы вклады лидирующего и следующего за лидирующим порядками разложения по постоянной тонкой структуры: в ведущем порядке вклад от адронной поляризации вакуума и подавленный на постоянную тонкой структуры вклад от процесса рассеяния света на свете. Используются различные версии кварковых моделей с нелокальным ядром взаимодействия, а также исследован локальный предел таких моделей. Проведено сравнение с расчетами, основанными на оригинальных идеях модели векторной доминантности. Полученная оценка на величину вклада от процесса рассеяния света на свете уменьшает расхождение между эксперименталь-



ными измерениями и теоретическими оценками аномального магнитного момента мюона (*автор: к.ф.-м.н. А.Е. Раджабов*).

Рассмотрен класс сумм, возникающих при исследовании непрерывного предела интегрируемых иерархий дифференциально-разностных уравнений. Он включает в себя классические суммы нечетных степеней первых натуральных чисел. Другим экстремальным частным случаем этих сумм являются так называемые биномиальные суммы. В общем случае для этих сумм предлагается представление с помощью некоторых многочленов, обобщающих многочлены Тьюентера. Предложен ряд гипотез относительно этих многочленов. Все эти гипотезы хорошо согласуются с известными результатами, в частности, с теоремой Фаульхабера и представлением для классических сумм степеней первых натуральных чисел через числа Бернулли (*автор: к.ф.-м.н. А.К. Свинин*).

Построена нелинейная разностная схема высокого порядка аппроксимации для квазилинейных дифференциально-алгебраических систем уравнений в частных производных. Подготовлена программа, реализующая вычисления по итерационно сплайн-коллокационному алгоритму для таких систем. Выполнены расчеты (*автор: к.ф.-м.н. С.В. Свинина*).

Исследована система двух уравнений параболического типа с двумя нелинейностями, зависящими от суммы квадратов искоемых функций. Найдены условия на нелинейности, при выполнении которых система редуцируется к одному уравнению. Выявлены случаи, когда это уравнение сводится к линейному уравнению теплопроводности, либо к полулинейным параболическим уравнениям с известными точными решениями. Построены параметрические семейства точных решений исходной системы, задаваемые элементарными функциями. Для случая, когда нелинейность в системе только одна, но является управляемой, указан описываемый в терминах решений линейных уравнений Гельмгольца широкий класс функций, которые могут быть реализованы как точные решения системы и получен явный вид соответствующих им законов управления (*автор: к.ф.-м.н. Э.И. Семенов*).



IV. Информатика и информационные технологии

Приоритетное направление 35. Когнитивные системы и технологии, нейроинформатика и биоинформатика, системный анализ, искусственный интеллект, системы распознавания образов, принятие решений при многих критериях

Тема IV.35.1.1. (0348-2014-0005) Информационно-вычислительные технологии в системах поддержки принятия решений на основе оптимизационных моделей и методов

№ гос. регистрации – 01201351945

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

Проведено тестирование разработанной вычислительной технологии глобального поиска для задач оптимального управления с d.c. функционалами Лагранжа и Больца на широком поле тестовых задач, а также проведено сравнение с существующими пакетами прикладных программ, в частности, с пакетом ACADO Toolkit (авторы: д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский, М.В. Янулевич).

Разработаны и исследованы новые модели и методы решения задач составления расписаний и диспетчеризации воздушного транспорта. Разработанные методы основаны на редукции исследуемой задачи к известной задаче минимизации запаздывания при составлении расписания загрузки станка со временем перенастройки, зависящим от последовательности работ (авторы: к.ф.-м.н. И.Л. Васильев, к.ф.-м.н. А.В. Ушаков).

Разработаны и обоснованы специальные методы решения одного уравнения с квадратичными d.c. функциями посредством методов невыпуклой и негладкой оптимизации. Разработанный метод позволяет из недопустимой точки построить точку, удовлетворяющую d.c. уравнению, с уменьшением заданной целевой функции. Доказана сходимость метода. Проведено его численное тестирование, результаты которого показали конкурентоспособность разработанного подхода (автор: д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский).



Разработан и протестирован программный модуль для решения нелинейных задач двухуровневой оптимизации с квадратичными функциями в гарантированной постановке, базирующийся на двухэтапной доказательной редукции исходной задачи с использованием метода точного штрафа (*авторы: д.ф.-м.н. А.С. Стрекаловский, к.ф.-м.н. А.В. Орлов, к.ф.-м.н. Т.В. Груздева*).

Разработана обобщенная имитационная модель логистического терминала (транспортного пересадочного узла) в виде многофазной немарковской системы массового обслуживания с различными функциями каналов и интенсивностями обслуживания, в которой допускается поступление мультитазявок (*авторы – к.ф.-м.н. А.А. Лемперт, М.Л. Жарков*).

Разработан прототип интеллектуального программного комплекса поддержки процесса моделирования сложных систем и проведена его апробация для построения вариантов медико-эколого-экономических моделей для разных регионов России и г. Улан-Батор (Монголия) (*автор: к.т.н. А.Б. Столбов*).

Разработана процедура исследования задач оптимального управления с применением магистральных решений для медико-экологических моделей (*автор: к.т.н. А.Б. Столбов*).

На основании натурных измерений разработана нелинейная модификация многослойной модели Стефана о фазовом переходе на границе вода-лед. Для интерпретации результатов измерений термического режима ледового покрова на Байкале была разработана математическая модель формирования профиля температуры в многослойной системе с фазовым переходом и сформулирована обратная задача. Разработан алгоритм и вычислительная технология решения обратных задач тепло- и массопереноса. Коэффициенты эффективной теплопроводности в подледной воде определены из численного решения обратной задачи с применением поисковых модифицированных алгоритмов из семейства Хука-Дживса (*автор: В.В. Козлов*).



На примере озера Байкал проведено исследование прикладной задачи, связанной с процессами формирования ледового покрова при разных скоростях подледных течений. Численное решение обратной задачи позволило получить вертикальное распределение эффективной теплопроводности для двух станций с разными скоростями течений (*автор: В.В. Козлов*).

Получены необходимые условия оптимальности для задач оптимального управления непрерывно-дискретными системами. Доказаны теоремы о сходимости алгоритмов улучшения для задач оптимального управления непрерывно-дискретными системами к условиям гибридного принципа максимума (*автор: Н.С. Малтугужева*).

Разработаны методы второго порядка для задач оптимального управления многоэтапными процессами с нефиксированной сменой времени этапов, с их помощью исследована задача оптимального управления эколого-экономической системой (*автор: д.ф.-м.н. В.А. Батулин*).



Приоритетное направление 36. Системы автоматизации, CALS-технологии, математические модели и методы исследования сложных управляющих систем и процессов

Тема IV.36.1.2. (0348-2014-0006) Развитие методов и программно-алгоритмического обеспечения для анализа стратегии совместного управления сложными техническими системами, в том числе группировками автономных подводных роботов при мониторинге экологической и техногенной безопасности водной среды и подводных сооружений

№ гос. регистрации: 01201351950

Научный руководитель – ак. И.В. Бычков.

Разработаны процедуры, автоматизирующие различные этапы анализа и синтеза нелинейных систем управления с использованием вычислительной технологии, базирующейся на методе редукции и сублинейных векторных функциях Ляпунова (ВФЛ). В частности, разработан высокоуровневый язык для описания решаемой задачи анализа или синтеза, включающий описание математической модели объекта управления в виде системы дифференциальных уравнений первого либо второго порядка (в том числе уравнений в форме Лагранжа), возможно неразрешенных относительно первой производной; входящих в уравнения параметров, а также неопределенностей и возмущений с указанием накладываемых на них ограничений; структуры закона управления и способа его формирования, характеристик исполнительных органов и измерителей с учетом их погрешностей, насыщения, квантования по уровню; описание наблюдателей и фильтров, используемых для получения оценок состояния системы.

Предложены алгоритмы трансляции такого описания в некоторый вспомогательный язык, в котором исследуемая модель представлена в пространстве состояний с выделением на основе разложения в ряд линейной части и получением оценки остальных членов разложения. Во вспомогательном языке исследуемая система задана в векторно-матричной форме, близкой к той, что используется в упомянутой технологии для анализа нелинейных систем управления на



основе сублинейных ВФЛ. Разработаны процедуры автоматического синтеза программ, реализующих по заданному описанию исследуемой системы во вспомогательном языке построение подходящей ВФЛ сублинейного типа и соответствующей ей системы сравнения (СС), к анализу которой сводится исследуемая задача для исходной системы. Алгоритмы синтеза основываются на различных методиках, применяемых при вычислении оценки полной производной по времени ВФЛ, а также теоремах о дифференциальных и интегральных неравенствах.

Кроме того, разработаны процедуры определения класса монотонных систем сравнения, получаемых в результате исполнения синтезированных программ. По результатам идентификации из разработанной ранее библиотеки выбираются необходимые подпрограммы, решающие поставленную задачу анализа/синтеза для СС. В случае задачи синтеза, которая формализуется как задача определения параметров системы (коэффициентов обратных связей, параметров наблюдателей и фильтров), обеспечивающих требуемые либо оптимальные характеристики системы, также формируются подпрограммы для вычисления критерия синтеза и проверки ограничений; здесь же производится выбор используемого при синтезе метода оптимизации с заданием его параметров. Общая схема решения задач анализа и синтеза с использованием разработанных средств автоматизации представлена на рис. 9.



Рис. 9. Схема решения задачи анализа/синтеза с использованием технологии, базирующейся на сублинейных ВФЛ

Описанные процедуры были использованы при решении различных практических задач динамики и управления: децентрализованного цифрового управления формациями группы автономных подводных роботов (АПР), отслеживания траекторий АПР, стабилизации стационарных и программных движений упругих космических аппаратов (*к.т.н. С.А. Ульянов*).

Предложена схема выполнения комплексных поисково-обследовательских миссий группы АПР на основе периодов планирования заданной длительности, где в конце каждого периода происходит информационная синхронизация группы с последующей полной актуализацией данных (рис. 10). Под синхронизацией понимается установка гидроакустического канала связи внутри группы таким образом, чтобы каждый робот мог связаться с каждым напрямую или через других роботов. Актуализация данных подразумевает обмен между АПР списками зарегистрированных ими событий и их последующую обработку каждым роботом группы. В качестве таких событий могут выступать:

- обнаружение или необнаружение цели из плана;
- время и результаты обследования цели;



- обнаружение новых целей и/или объектов;
- уточнение карты рельефа;
- изменение состояния АПР.



Рис. 10. Выполнение миссии на основе периодов планирования

Результатом обработки полученных событий является корректировка текущей групповой стратегии в условиях изменившихся данных. Каждый АПР единолично производит перерасчет и адаптацию групповой стратегии, после чего внутри группы производится обмен наилучшими найденными решениями. Наиболее эффективное принимается всей группой в качестве текущего на следующий период планирования, при этом все решения строятся таким образом, чтобы гарантировать возможность очередной установки связи по окончании следующего периода планирования (рис. 11). В ходе движения по выбранному маршруту каждый АПР не только выполняет последовательность поставленных ему задач и регистрирует события, но и производит предпланирование работы группы уже на следующий период в фоновом режиме, что позволяет действующей группе поддерживать распределенную базу знаний актуальных групповых стратегий. Наличие такой базы значительно повышает качество и скорость адаптации текущей стратегии в случае непредвиденных изменений условий миссии или состава самой группы.

Дополнительной возможностью настройки поведенческой стратегии группы является варьирование временной длительности периодов планирования, позволяющее регулировать баланс между эффективностью, реактивностью



(как способностью быстро реагировать на изменения) и надежностью работы (авторы: ак. И.В. Бычков, к.т.н. Н.Н. Максимкин, М.Ю. Кензин).

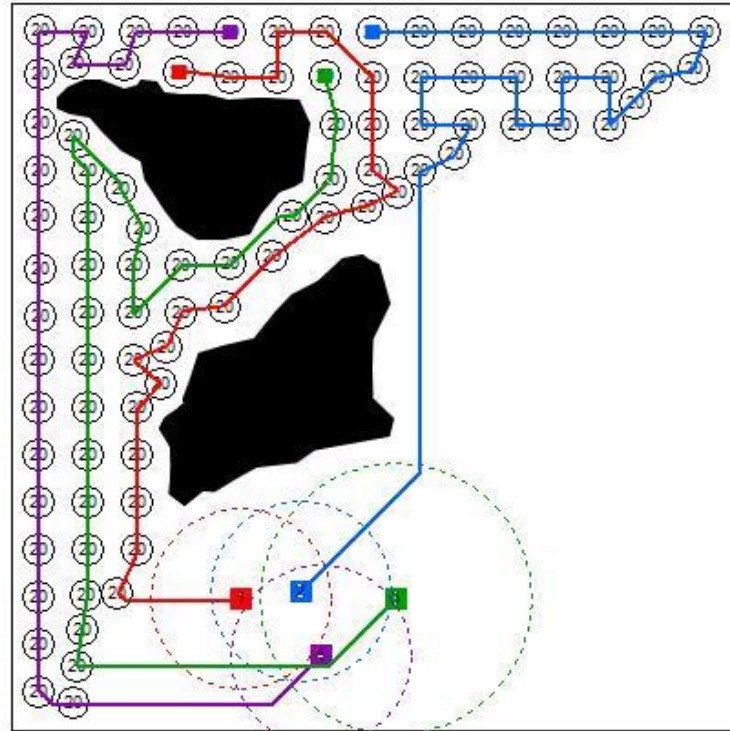


Рис. 11. Маршруты обследования акватории для группы из четырех АПР на один период планирования с выходом в конфигурацию, позволяющую установить общий канал связи

Проведены исследования временной семантики языка позитивно-образованных формул (ПО-формул) с функциональными символами и равенством как обобщения стратегии моделируемого времени для исчисления без функциональных символов. Методы поиска вывода и ограничивающие вывод стратегии при использовании дискретного времени в формулах основываются на формализации операторов и правил темпоральных логик LTL и CTL с помощью ПО-формул. Таким образом, осуществляется возможность применения разработанного метода АДТ на основе ПО-формул с функциональными символами и равенством к решению проблем верификации технических систем и программ.

Как известно, верификация некоторой системы или программы состоит из следующих частей: 1) построение математической модели анализируемой системы; 2) представление проверяемых свойств в виде формальной специфика-



кации; 3) построение формального доказательства наличия или отсутствия у системы проверяемого свойства. Как правило, верификация применяется для анализа корректности системы (программы), а в случае ее нарушения эксплуатация системы (программы) невозможна.

С помощью метода АДТ, основанного на исчислении ПО-формул, возможна проверка наличия тех или иных свойств у системы (программы) с помощью построения логического вывода указанных свойств из построенных формальных спецификаций. Как известно, существуют два основных метода формальной проверки, удовлетворяет ли модель программы (системы) спецификации: 1) *model checking* (МС), использование которого дает наибольший эффект в том случае, когда модель не удовлетворяет спецификации, и 2) логический вывод, который более эффективен (по сравнению с МС) для обоснования того, что модель удовлетворяет спецификации.

Автоматизация построения логического вывода утверждений во времени с применением классического первопорядкового формализма достаточно затруднительна из-за сложности получаемых формул-спецификаций. С другой стороны, существуют достаточно эффективные средства для автоматического поиска логического вывода в темпоральных логиках, но выводы, построенные такими системами, трудно интерпретируемы, что затрудняет процесс верификации. Одним из положительных свойств исчисления ПО-формул является интерпретируемость человеком построенных в нем выводов, кроме того, формализация темпоральных операторов и правил на языке ПО-формул не выходит за рамки его ограничения, в котором, используя особенности ПО-исчисления, производится более эффективный, в сравнении с другими системами первопорядкового АДТ, поиск выводов *(авторы: А.В. Давыдов, А.А. Ларионов)*.

Рассмотрены известные на сегодняшний день модели нечетких дискретно-событийных систем (ДСС) и их применение в задачах управления мобильными роботами. В зависимости от модели системы нечеткие множества могут описывать состояния ДСС, переходы между состояниями, а также события.



Выделены две основные модели нечетких ДСС (НДСС): НДСС, модели которых строятся на основе состояний и переходов, и НДСС, представляемые генерируемыми последовательностями событий (языками). Исследованы вопросы построения супервизоров (регуляторов) для обоих типов моделей.

Исследовано применение нечетких ДСС для моделирования поведения автономных подвижных роботов в условиях неопределенного и изменчивого окружения. Нечеткие множества в этом случае могут формализовать, например, недостоверные показания датчиков и служить для выбора стратегии поведения в зависимости от текущей обстановки. На рис. 12 представлена схема обработки данных датчиков для получения моделирующих коэффициентов поведений для модели управления подвижным роботом на основе поведенческого подхода, когда результирующее поведение представляет собой линейную комбинацию базовых поведений (следование по маршруту, обход препятствий, следование к заданной цели и т.п.). Нечеткие ДСС в этом случае служат для вычисления интенсивностей базовых поведений в зависимости от данных об окружении.

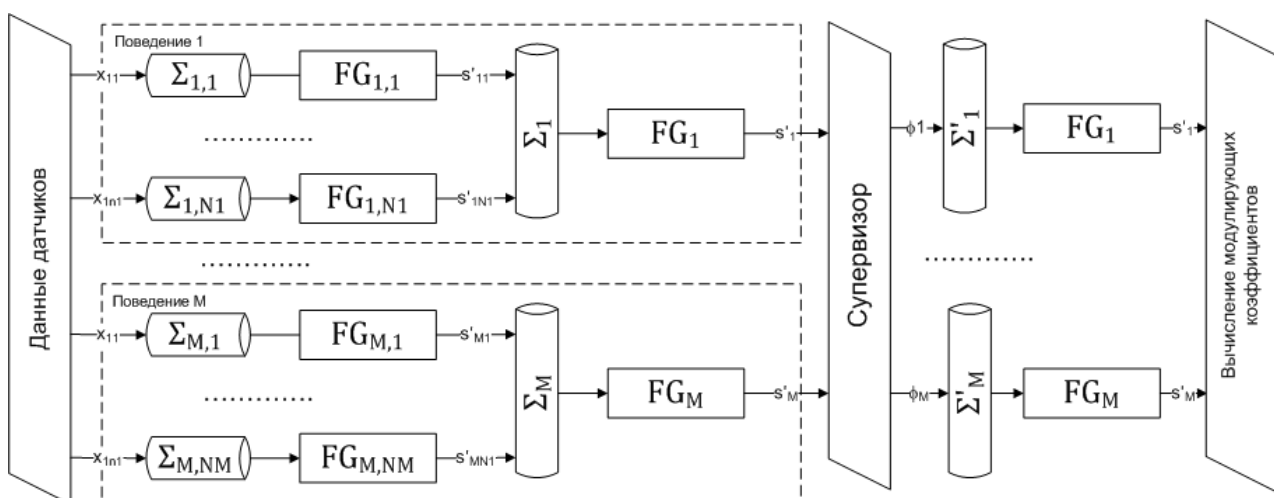


Рис. 12. Схема обработки данных датчиков для получения моделирующих коэффициентов для формирования итогового поведения



Поскольку в задачах управления подвижными роботами существенными являются такие понятия теории супервизорного управления ДСС, как управляемость и наблюдаемость, рассмотрены различные определения управляемости и наблюдаемости НДСС, в том числе управляемость, основанная на состоянии системы, и управляемость, основанная на генерируемой системой последовательности событий. Показано сохранение свойства управляемости по сгенерированной последовательности событий при переходе от НДСС к ее четкому аналогу. Управляемость по состоянию является новым понятием теории ДСС и не имеет аналога для четких ДСС.

Кроме того, исследована обобщенная архитектура децентрализованного супервизорного управления дискретно-событийными системами. Рассмотрен вопрос сохранения свойства неблокирования при агрегации локальных супервизоров в глобальный на основе конъюнктивной архитектуры, подразумевающей, что глобально разрешены только события, разрешенные всеми локальными супервизорами. По совокупности свойств вспомогательных систем, описывающих свойства неблокирования локальных супервизоров, методом логико-алгебраических уравнений получены условия наличия этого свойства у глобального супервизора (*автор: к.ф.-м.н. Н.В. Нагул*).

Получен алгоритм построения управления, обеспечивающего свойство внутренней устойчивости для группы взаимосвязанных движущихся объектов (формации), при условии его наличия (*автор: д.ф.-м.н. А.В. Лакеев*).

Разработаны методические и технологические основы распределенной системы автоматизации междисциплинарных исследований, обеспечивающей имитационное моделирование, управление знаниями, в том числе нечеткими, и поддержку экспертных решений, как основы научного направления «Информатика катастроф», включая:

- 1) методические и технологические основы управления знаниями для распределенной системы автоматизации междисциплинарных исследований на примере задач поддержки планирования и группового выбора при мониторинге



экологической и техногенной безопасности водной среды и подводных сооружений (авторы: к.т.н. А.Ю. Юрин, Г.С. Малтугова), в частности:

- Исследован вопрос применимости методов группового многокритериального выбора для принятия решений в мультиагентных системах с централизованным принятием решений, структура которых описывается моделью типа «Руководитель – Координатор – Источники информации». Согласно данной модели принятие решений осуществляется «Координатором» путем агрегирования информации, получаемой от «Источников информации», с учетом требований «Руководителя». Для агрегирования информации предложено использовать многометодную процедуру, основанную на применении метода «Агрегирования и Ранжирования Альтернатив около Многопризнаковых Идеальных Ситуаций» (АРАМИС) для обработки числовых и вербальных оценок и метода «Агрегирования Индивидуальных Ранжировок» (АИР) для агрегирования информации, представленной в виде упорядочений (рис. 13).

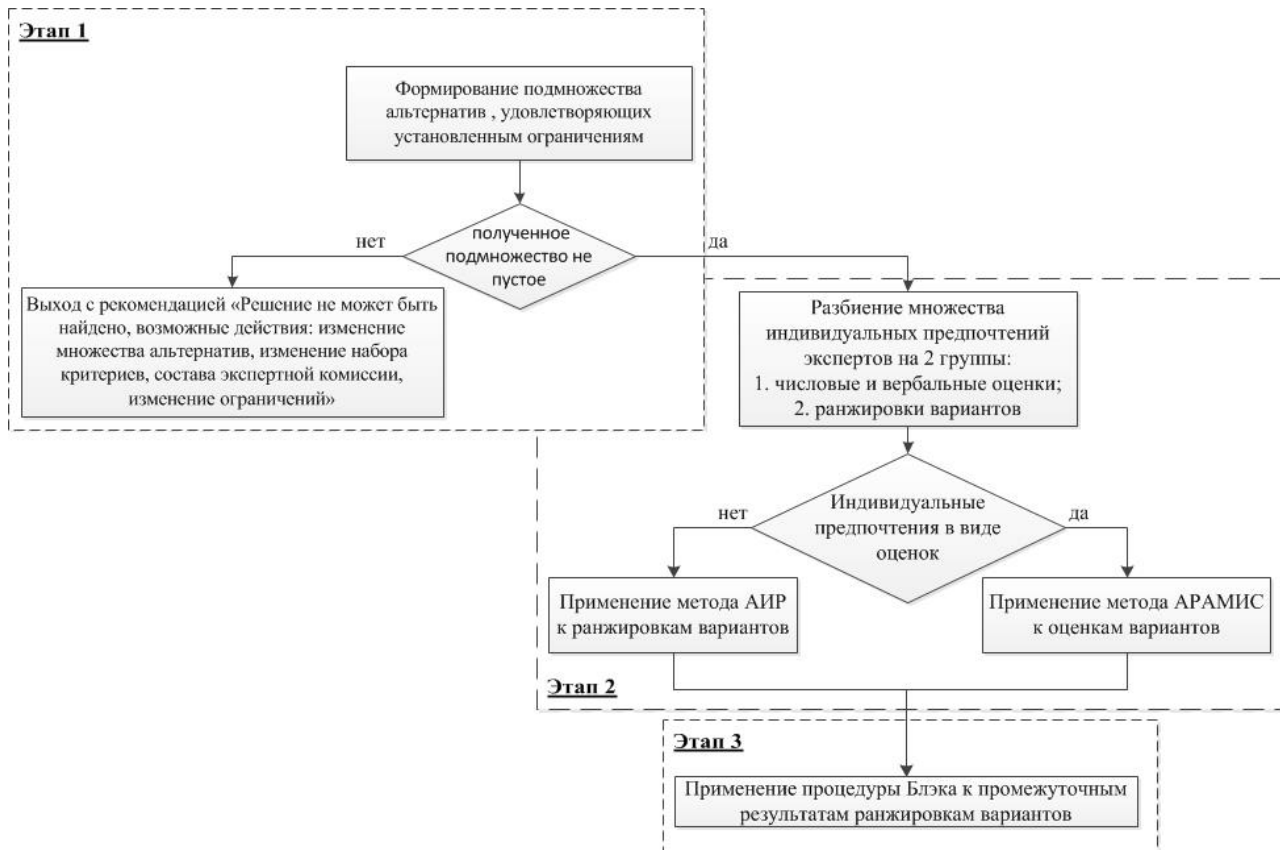


Рис. 13. Этапы многометодного подхода

- Предложен подход к автоматизации создания баз знаний на основе трансформации концептуальных моделей, обеспечивающий горизонтальную экзогенную одностороннюю (т.е. преобразование исходной и целевой моделей одного уровня иерархии, но описанных на различных языках моделирования). Метод основан на использовании XML-подобных стандартов для описания моделей, двухступенчатой трансформации (сперва преобразование M2M, затем M2C), что повышает технологичность процесса разработки БЗ за счет использования онтологии; унифицированной модели описания продукции.
- 2) методические и технологические основы имитационного моделирования для распределенной системы автоматизации междисциплинарных исследований на примере управления групповыми объектами при мониторинге эко-



логической и техногенной безопасности водной среды и подводных сооружений (авторы: д.т.н. О.А. Николайчук, к.т.н. А.И. Павлов).

Разработана последовательность этапов процесса создания имитационной модели, использованная в качестве основы для построения алгоритма формирования агентной модели, – от онтологического описания (ОМ) исследуемой области до ее программной реализации:

- Разработка ОМ исследуемой области. Результат данного этапа – ОМ, включающая формальное описание понятий, их свойств, отношений между ними, а также вычислительных процедур, реализующих известные закономерности исследуемой области, которые могут быть использованы в процессе моделирования.
- Постановка задачи имитационного моделирования. Результат – начальное описание разрабатываемой имитационной модели, включающее название, описание и перечень понятий ОМ, которые в дальнейшем будут использованы в качестве агентов или ресурсов имитационной модели.
- Проектирование агентной среды. Результат – структура, описывающая наблюдаемые агентами параметры внешней среды, а также набор ограничений, налагаемых средой на действия агентов (взаимодействие между агентами, доступ к ресурсам и т.д.). Предполагается, что ограничения формируются в виде продукционной базы знаний.
- Проектирование агента. Результат – описание типа архитектуры агента, сенсорной функции, способов взаимодействия с другими агентами, а также продукционная база знаний, описывающая поведение определенного класса агентов модели.
- Спецификация модели для вычислительного эксперимента. Результатом данного блока является количество агентов каждого класса в текущем эксперименте, начальные значения свойств агентов, параметров сре-



ды и другие исходные данные для моделирования (критерии оценки результатов моделирования).

– Программная реализация имитационной модели. Результат – программная система, позволяющая осуществлять рабочие расчеты и представлять результаты моделирования.

Предложена программная реализация компонентов создания онтологической модели, визуального конструирования баз знаний продукционного типа и реализации агентов в среде моделирования Madkit. Компонент создания концептуальной модели предназначен для формирования иерархической структуры понятий, определения свойств понятий и отношений между ними. При этом описание отношений осуществляется путем построения набора семантических сетей, вершинами которых являются понятия концептуальной модели, а связями – отношения между ними. Каждая из семантических сетей поясняет отдельный аспект моделируемой области. Компонент визуального конструирования баз знаний обеспечивает конструирование правил вида «ЕСЛИ условия ТО действия» и генерацию кода базы знаний на языках Jess и Clips. Компонент реализации агентов в среде моделирования Madkit включает в себя библиотеку среды моделирования, классы, использующиеся в процессе агентного моделирования («Типовой агент», «Планировщик» и т.д.), а также классы для выполнения служебных функций (взаимодействие с БД или с внешней системой). Основные функции данного компонента – выполнение агентной модели, а также информирование пользователя о текущем состоянии процесса моделирования и параметров отдельных агентов. Реализация всех компонентов осуществлена в виде веб-приложений.

3) принципы самоорганизации как методологической основы автоматизации междисциплинарных исследований динамики технического состояния, техногенной и экологической безопасности водной среды и подводных сооружений по критериям риска (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).



Принципы реализованы в форме самоорганизующегося алгоритма исследования динамики технического состояния и техногенного риска, базирующегося на методах и средствах искусственного интеллекта. Алгоритм самоорганизации обеспечивается экспертными системами различной компетенции и специализации.



Приоритетное направление 38. Проблемы создания глобальных и интегрированных информационно-телекоммуникационных систем и сетей.

Развитие технологий и стандартов GRID

Тема IV.38.1.2. (0348-2014-0007) Разработка проблемно-ориентированных технологий, систем и сервисов поддержки научных исследований на основе интеллектуальных методов и алгоритмов организации параллельных и распределенных вычислений

№ гос. регистрации – 01201351948

Научный руководитель – д.ф.-м.н. Г.А. Опарин.

Разработана новая технология параметрической настройки агентов с целью оптимизации распределения ресурсов вычислительной среды при выполнении заданий приложений пользователей (рис. 14). В отличие от известных подходов в рамках данной технологии управляющие параметры агентов настраиваются на основе интеграции методов и средств классификации заданий и ресурсов среды, а также ее метамониторинга и имитационного моделирования. Такой подход позволяет осуществлять детальный учет характеристик ресурсов и заданий, оценку текущего состояния среды и прогноз его развития, и тем самым обеспечивает высокую степень эффективности, надежности и масштабируемости вычислений в процессе решения больших задач (*авторы: ак. И.В. Бычков, д.т.н. Г.А. Опарин, к.т.н. А.Г. Феоктистов, к.т.н. И.А. Сидоров, к.т.н. В.Г. Богданова*).

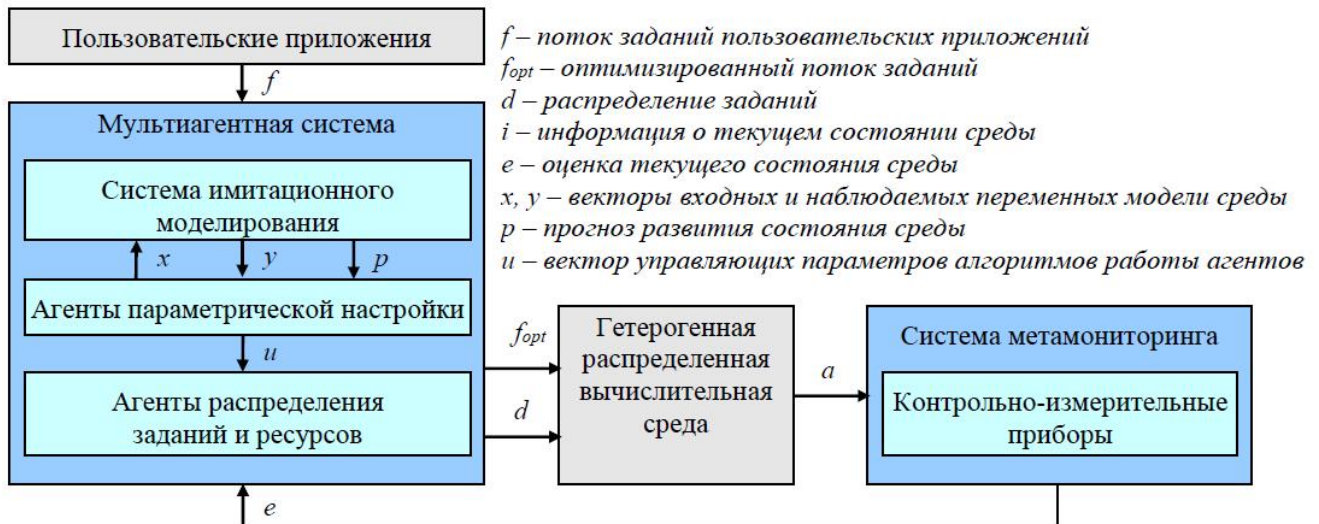


Рис. 14. Схема параметрической настройки агентов

Разработаны новая модель, новые методы и программные средства повышения отказоустойчивости высокопроизводительных вычислительных систем за счет комплексной автоматической диагностики программно-аппаратных компонентов этих систем, применения средств автоматической локализации и устранения неисправностей, а также применения механизмов автоматической реконфигурации. Разработанные методы и средства (рис. 15) позволяют производить контроль, диагностику и устранение неисправностей программно-аппаратных компонентов вычислительных систем за конечное число шагов; позволяют минимизировать время выполнения диагностики и устранения неисправностей за счет применения механизмов параллельного выполнения операций; а также повышать отказоустойчивость узлов и, как следствие, выполняемых в этих узлах вычислительных процессов за счет превентивных мер по диагностике и устранению неисправностей, что в совокупности позволяет повышать надежность и эффективность функционирования высокопроизводительных вычислительных систем (автор: к.т.н. И.А. Сидоров).

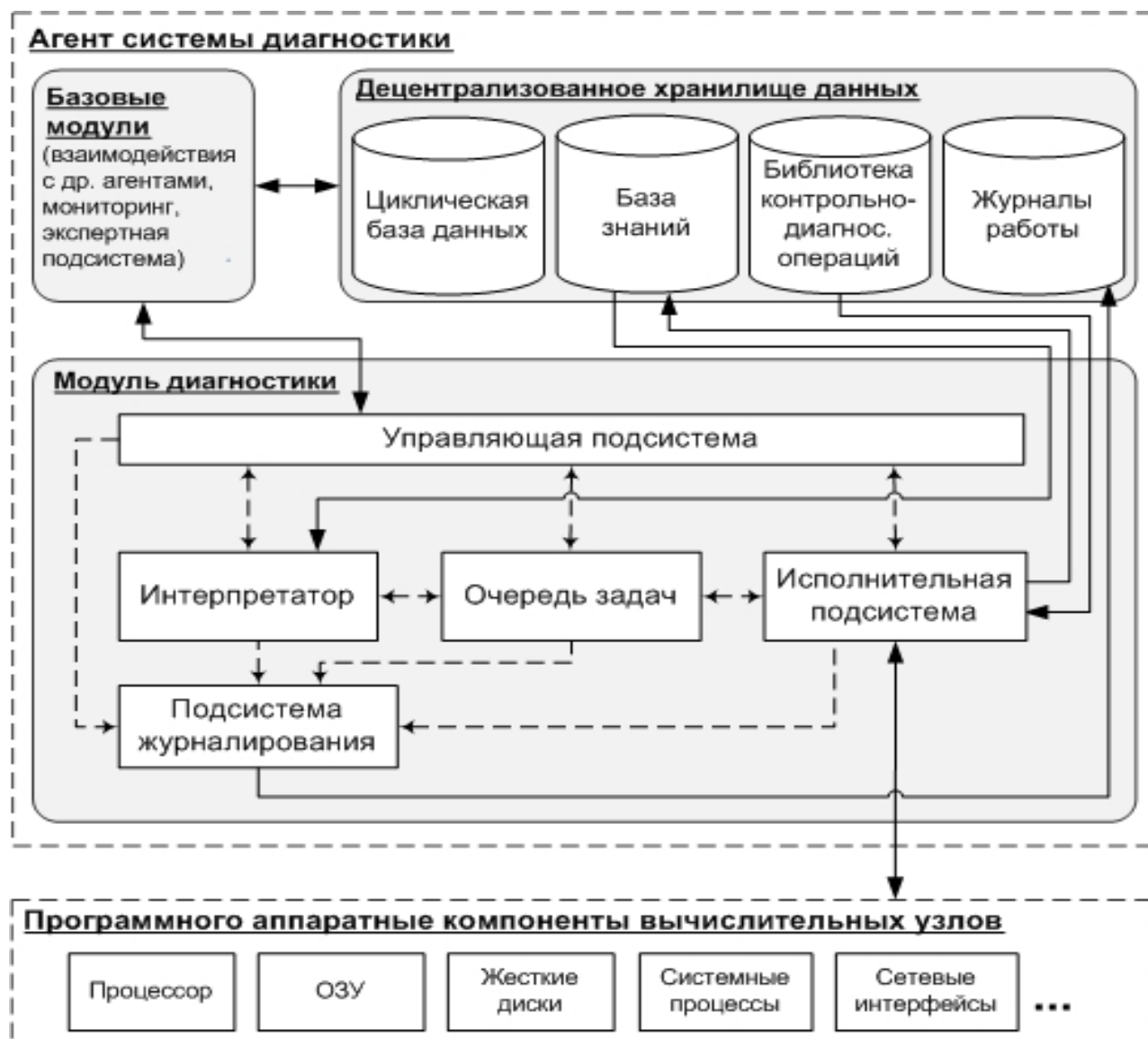


Рис. 15. Архитектура агента системы диагностики

Разработаны мультиагентные модели и методы реализации многоуровневого параллелизма при выполнении приложения пользователя в разнородной программно-аппаратной среде. Разработаны высокоуровневые инструментальные средства автоматизации создания и поддержки функционирования сервис-ориентированных приложений (рис. 16). С помощью этих средств получены пакеты прикладных сервисов для решения задач в булевых ограничениях и параметрического синтеза стабилизирующей обратной связи для линейных динамических объектов. Предложенная технология предоставляет новые качественные возможности по управлению



высокопроизводительными вычислениями (авторы: ак. И.В. Бычков, д.т.н. Г.А. Опарин, к.т.н. А.Г. Феоктистов, к.т.н. В.Г. Богданова, к.т.н. С.А. Горский, А.А. Пашинин).

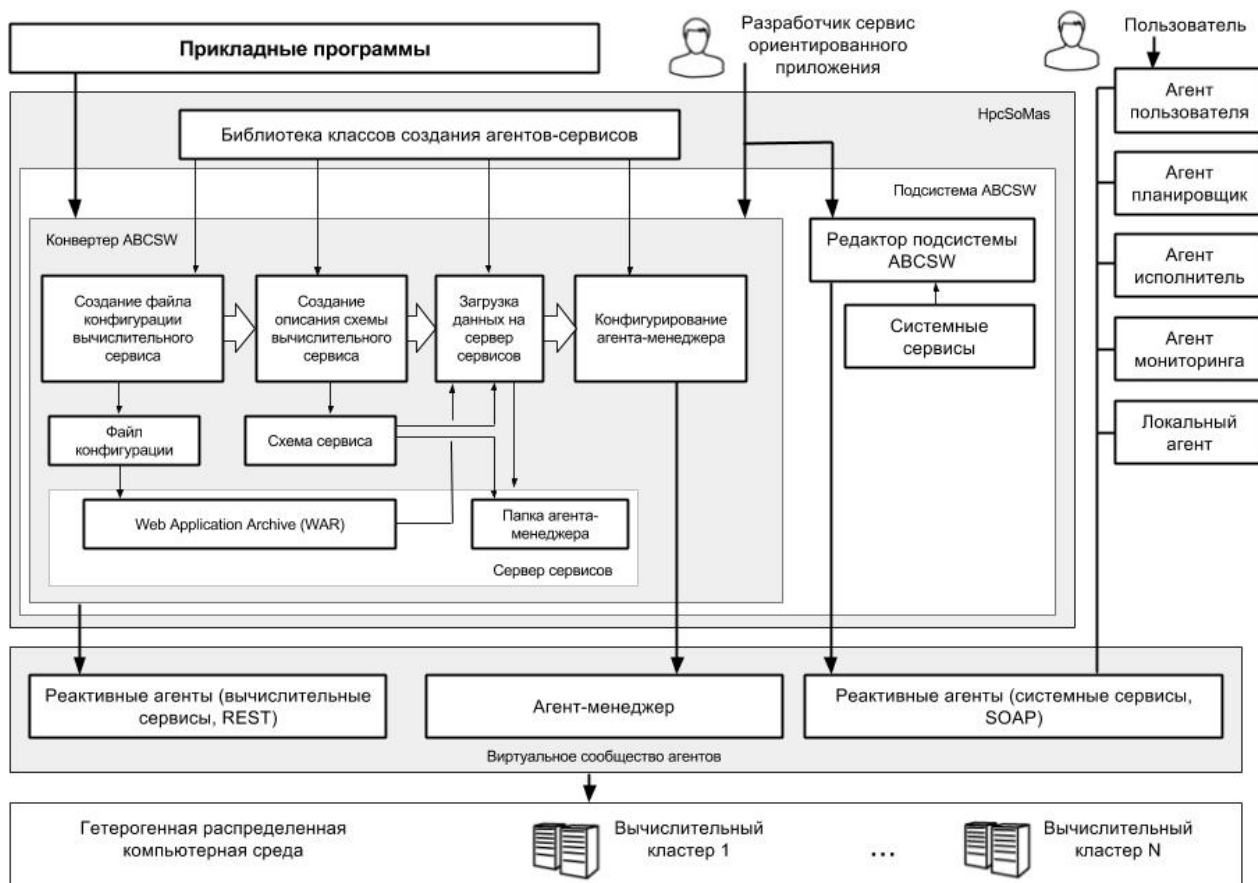


Рис 16. Разработка сервис-ориентированного приложения

Разработаны новые алгоритмы построения разбиений (Partitioning) трудных вариантов задачи о булевой выполнимости (SAT), в которых метаэвристики дискретной оптимизации (simulated annealing и tabu search) сочетаются с эвристиками, учитывающими особенности исходных комбинаторных проблем, сведенных к SAT (авторы: к.т.н. О.С. Заикин, к.т.н. А.А. Семенов).

Исследованы задачи поиска регулярных структур, задаваемых клеточно-автоматными отображениями. Построены редукции этих задач к задаче о булевой выполнимости (SAT). Были протестированы различные схемы пропозициональных кодировок. Были разработаны новые кодировки, учитывающие пере-



крытие клеточно-автоматных окрестностей. Проведены первые эксперименты по решению соответствующих SAT-задач в многопоточных средах (*авторы: к.т.н. А.А. Семенов, С.Е. Кочемазов*).

Разработан метод генерации разностных путей для задачи поиска коллизий криптографических хеш-функций. Основу метода составляет редукция рассматриваемой задачи к SAT с последующим автоматическим изменением условий некоторого известного дифференциального пути (например, пути X. Wang). Соответствующие алгоритмы были реализованы в параллельных и многопоточных средах. На текущем этапе разработанный метод позволил построить новые дифференциальные пути в задаче поиска коллизий криптографической хеш-функции MD4 (*автор: И.А. Грибанова*).

Получена оценка трудоемкости атаки «Андерсона-Ро» на поточный шифр A5/1 в распределенной среде, построенной из GPU-вычислителей. Полученная оценка демонстрирует высокую эффективность и реалистичность описанной атаки (*авторы: к.т.н. А.А. Семенов, В.Г. Булавинцев*).

Разработаны новые алгоритмы решения квантифицированного варианта проблемы MaxSAT (QMaxSAT). Разработанные алгоритмы были использованы для решения целого ряда задач дискретной оптимизации в контексте вычислительных схем, использующих SAT-оракулы (*автор: А.С. Игнатьев*).

Тема IV.38.2.3. (0348-2014-0008) Новые методы, технологии и сервисы обработки пространственных и тематических данных, основанные на декларативных спецификациях и знаниях

№ гос. регистрации: 01201351951

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

Предложен механизм использования вычисляемых полей в интерактивном построителе пользовательских запросов. В определении вычисляемого поля можно использовать значения, вычисляемые подзапросами. После определения вычисляемого поля становится возможным использовать его в условиях за-



просов. Технология использования декларативных спецификаций для построения приложений БД является оригинальной разработкой ИДСТУ СО РАН, позволяющей сократить сроки разработки в несколько раз по сравнению со всеми известными технологиями разработки информационных систем: от библиотек компонентов или ORM до MDA. С использованием спецификаций структуры БД реализован мощный интерактивный построитель пользовательских запросов, полученный результат позволяет расширить возможности этого построителя запросов (*авторы: к.т.н. А.Е. Хмельнов, к.т.н. Е.С. Фереферов*).

Реализован механизм генерации исходных текстов простого приложения для работы с БД на языке Object Pascal по спецификации приложения БД. Автоматически генерируется код модуля данных (рис. 17), содержащего все невидимые компоненты, используемые для описания объектов БД, код форм редактирования данных в табличном виде и код форм редактирования отдельных записей, код главного модуля, позволяющего открывать эти формы, а также файл проекта. Технология использования декларативных спецификаций для построения приложений БД основана на непосредственном применении спецификаций при работе настраиваемых универсальных систем. Разработанный механизм генерации исходных текстов позволяет расширить применение спецификаций: использовать их для генерации модулей для работы с данными (как это, например, делается при использовании MDA), что позволяет легче интегрировать такие модули в уже существующие системы. Таким образом, расширяется область применения спецификаций (*автор: к.т.н. А.Е. Хмельнов*).

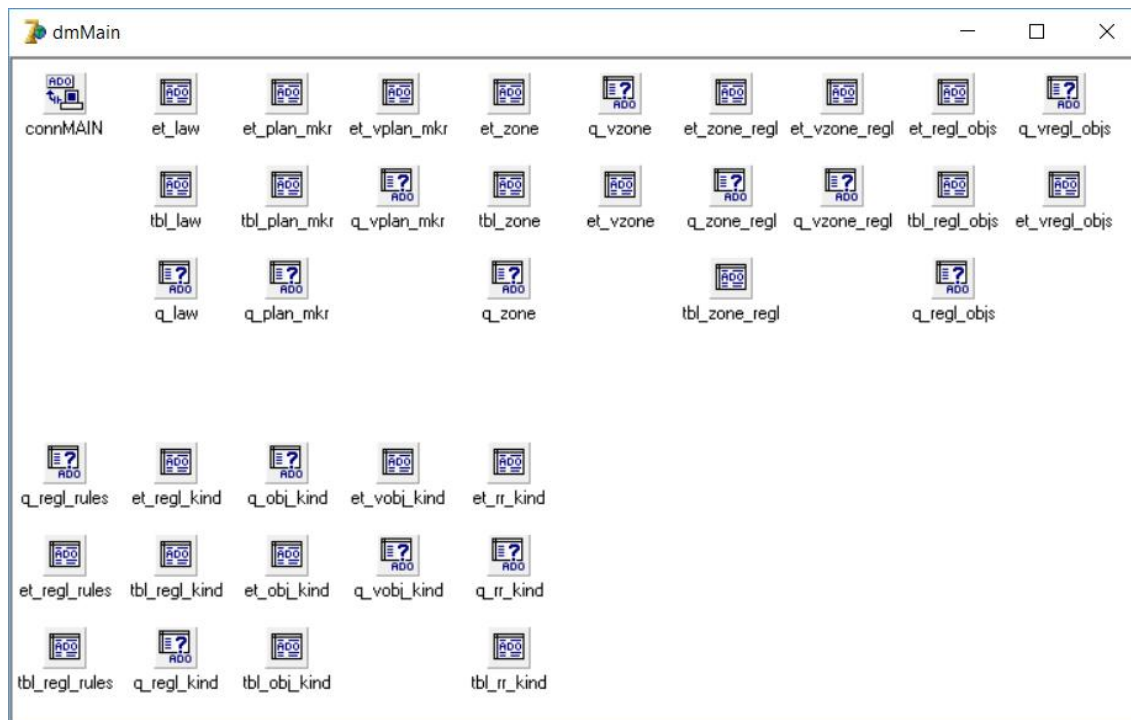


Рис. 17. Пример сгенерированного модуля данных

Технология построения отчетных форм по спецификациям приложений БД адаптирована для работы с пространственными данными. При этом в список таблиц, для работы с которыми могут использоваться подключаемые модули, добавляется специальная таблица MAP. Связанные с этой таблицей подключаемые модули сопоставляются с картой. При этом сам механизм обработки шаблонов не меняется, но в роли полей для таблицы MAP выступают семантические характеристики выбранного объекта карты и ряд его вычисляемых атрибутов (площадь, периметр и т.д.). Кроме того, изображения объекта и фрагмента карты вокруг него доступны в шаблоне как специальные «BLOB-поля», содержащие фрагменты изображений. Координаты объекта являются с точки зрения шаблона подчиненной таблицей. Также через метафору подчиненных таблиц в шаблонах отчетов доступны записи таблиц БД, связанные с объектом карты. Технология использования декларативных спецификаций для построения приложений БД поддерживает описание связей между записями БД и объектами карты, что позволяет включать в приложения БД картографическую подсистему, позволяющую отображать на карте информацию из БД. Эта возможность



является оригинальным результатом, существенно (в разы) сокращающим время реализации подобных систем по сравнению со всеми известными средствами разработки. Распространение технологии построения отчетов по спецификациям на объекты карты позволяет поддерживать быструю разработку отчетных форм, содержащих графические изображения объектов карты и фрагментов карты вокруг объектов, координаты и атрибуты объектов, а также связанную с объектами информацию из БД (*автор: к.т.н Е.С. Фереферов*).

Предложен способ редактирования значений элементов данных простых типов в программе BinExpl. Разработан алгоритм определения тех элементов данных, редактирование которых не приводит к перераспределению памяти, и поэтому их безопасно редактировать. Необходимы дальнейшие исследования для расширения применимости спецификаций для редактирования. Язык FlexT является разработкой ИДСТУ СО РАН и существенно превосходит по своим возможностям известные проекты, предназначенные для описания форматов бинарных данных. Реализованные с использованием интерпретатора FlexT инструментальные средства предназначены для просмотра бинарных данных. Выполненное исследование позволяет начать реализацию редактора бинарных данных пока для ограниченного подмножества описанных форматов (*автор: к.т.н. А.Е. Хмельнов*).

Код приложений для работы с форматом MRG был портирован на Linux. Для поддержки MRG в библиотеке GDAL разработаны программные модули для работы с форматом MRG из языка C++ с использованием динамической библиотеки MRGLib. Формат MRG разработан в ИДСТУ СО РАН для эффективного представления без потери информации больших растров. По своим задачам его можно сравнить с форматами MrSID или ECW, но для реализации использованы более простые методы сжатия. Поддержка формата MRG в GDAL позволяет расширить его область применения (*автор: к.т.н. А.Е. Хмельнов*).



Разработан алгоритм сегментации одноканальных растровых изображений с использованием триангуляций. Триангуляция строится по обнаруженным каким-либо детектором граничным точкам. Каждая граничная точка должна характеризоваться своими координатами (которые могут определяться на субпиксельном уровне точности) и порогом яркости, на котором проходит граница. Триангуляция служит для интерполяции граничных порогов в каждую точку изображения. Таким образом, получается замкнуть обнаруженные границы и выполнить сегментацию изображения. В алгоритмах сегментации растровых изображений часто применяется бинаризация по произвольно заданному порогу. Алгоритмы обнаружения граничных точек дают отдельные точки, не объединенные в связные контуры границ. Предложенный алгоритм позволяет использовать вместо этого поле порогов, полученное в соответствии с найденными на изображении граничными точками и позволяющее разбить изображение на сегменты по этим точкам (*автор: к.т.н. А.Е. Хмельнов*).

Выполнено проектирование и прототипирование веб-сервиса извлечения произвольных таблиц из неразмеченных PDF-документов на основе исполнения спецификаций конфигурируемых параметров и специализированных подключаемых эвристик. В текущем состоянии веб-сервис позволяет автоматически распознавать ячеистую структуру произвольных таблиц, содержащихся в PDF-документах, и сохранять результаты в виде электронных таблиц Excel. Разработано опытное веб-приложение доступа к данному сервису, предоставляющее интерактивный пользовательский интерфейс (<http://cells.icc.ru/pdfte>). Новизна полученных результатов состоит в том, что впервые изучены возможности автоматического восстановления порядка чтения текста внутри таблиц по порядку вывода инструкций печати при использовании различных генераторов PDF-документов (встроенных конверторов в широко-распространенных офисных пакетах программ: Microsoft Office Excel и Word, OpenOffice Writer и Calc, LibreOffice Writer и Calc, LaTeX, а также виртуальных принтеров: Adobe, Foxit, Solid Documents). Экспериментально показано, что использование эвристик на



основе порядка вывода печатных эвристик может эффективно применяться. Тестирование веб-сервиса на известном соревновательном наборе данных «ICDAR2013 Table Competition» показало высокую оценку его производительности: F1-мера составила около 94%, что на сегодняшний день сопоставимо с лучшим академическим аналогом (Nurminen, 2013) (авторы: к.т.н. А.О. Шигаров, А.А. Михайлов, А.А. Алтаев).

В рамках Геопортала ИДСТУ СО РАН для выполнения композиций распределенных сервисов был разработан способ задания композиций сервисов с помощью программ на языке JavaScript (сценариев). Для задания композиции сервисов пользователь внутри сценария вызывает доступные распределенные сервисы с помощью специальных функций-оберток, т.е. как обычные функции языка. Спроектирована и разработана, а также интегрирована в существующую инфраструктуру Портала ИДСТУ СО РАН система асинхронного и параллельного выполнения композиций сервисов в гетерогенной среде. Основными преимуществами разработанной системы являются ее способность к перестройке расписания вызова сервисов при изменениях состояния гетерогенной среды, а именно, отключению или, наоборот, включению отдельных вычислительных узлов в процессе выполнения композиции, изменению временных характеристик вызываемых сервисов. Кроме того, система производит планирование с учетом динамического изменения графа зависимостей заданий, который формируется при выполнении JavaScript кода. Перестроение расписания происходит с учетом частично выполняющегося расписания, что обеспечивает его актуальность. Задание композиций сервисов с помощью JavaScript позволяет пользователю не задумываться о планировании и выполнении сервисов, о синхронизации выполнения сервисов и передачи данных между ними, что упрощает процесс разработки композиций сервисов. В результате апробаций было отмечено, что система динамического выполнения композиций распределенных сервисов осуществляет планирование выполнения сервисов в соответствии с возложенными на нее требованиями. В общем представленный подход автома-



тически решает множество задач асинхронного и параллельного выполнения композиции сервисов, позволяя программисту работать в привычной среде (авторы: к.т.н. Р.К. Федоров, А.С. Шумилов).

Для повышения скорости обработки растровых геопространственных данных в пределах сервисо-ориентированной среды разработан метод на основе использования модели распределенных вычислений MapReduce. Реализовано распределение растровых изображений между узлами вычислительной сети с помощью разработанных обработчиков для операций Map и Reduce. Распределение фрагментов растровых изображений осуществляется с помощью спецификаций – правил распределения и сбора обработанных данных. Правила задаются в текстовом виде в формате JSON. Механизм создания и использования спецификаций интегрирован в информационную систему Геопортала ИДСТУ СО РАН. Геопортал позволяет выполнять распределенные сервисы. Использование спецификаций при выполнении сервисов позволяет эффективно использовать доступные вычислительные мощности (авторы: к.т.н. Р.К. Федоров, А.С. Шумилов).

В отличие от существующих реализаций MapReduce предлагаемый метод позволяет использовать инструменты пространственного анализа растровых изображений в распределенной вычислительной среде без их модификации. Выполнение распределенных сервисов, работающих с большими объемами растровых данных, в рамках модели MapReduce позволяет уменьшить время выполнения сервисов и максимально использовать имеющиеся аппаратные мощности. Предполагаемый метод апробирован на сервисах обработки данных ДЗЗ.

Разработан и предложен алгоритм выявления, исправления ошибок и несоответствий с целью улучшения качества данных сравнения и нормализации слов русского языка на основе их фонетического сходства. Алгоритм является достаточно эффективным для сопоставления слов русского языка со значениями классификаторов. Новизна и особенность алгоритма состоит в том, что для



фонетического кодирования не используется транслитерация кириллических букв в латинские. При кодировании букв и их последовательностей применяются правила фонетики русского языка. Закодированные последовательности представляются в виде простых чисел, возможно также проведение нечеткого фонетического сопоставления строк. Это производится посредством суммирования значений фонетического кода слова. Эффективность разработанного алгоритма оценивалась путем сравнения результатов нормализации слов с фонетическими алгоритмами Soundex, Metaphone, Caverphone и др., для которых использовалась транслитерация по стандарту ГОСТ Р 52535.1-2006. В качестве тестовой базы был использован словарь Ожегова, содержащий 11601 различных слов, в которые псевдослучайным образом были внесены фонетические ошибки, связанные с позиционными изменениями, ассимиляцией, диссимиляцией. В результате сравнения были показаны достаточно высокие результаты, в частности, были корректно идентифицированы 95,12% (98,8% в случае нечеткого фонетического сравнения) слов, содержащих фонетические ошибки. Идентификации слов в соответствии с их фонетическим сходством для других известных алгоритмов, апробированных на тестовом наборе составляют от 75,97% (NYSIIS) до 96,84% (DaichMokotoffSoundex) (авторы: к.т.н. В.В. Парамонов, П.В. Белых).

Разработан новый метод редактирования набора классификаторов, который поддерживает иерархию показателей, подразумевающий возможность проведения оперативной аналитической обработки данных, собираемых в одном разрезе через единый интерфейс доступа пользователя. Новизна этого результата в том, что, в отличие от известных методов, нет необходимости создания отдельных многомерных кубов данных для каждого факта, если они обладают одинаковым набором измерений. Реализовано многомерное концептуальное представление данных с полной поддержкой множественных иерархий (автор: А.А. Ветров).



В имеющиеся эксплуатируемые и проектируемые информационно-аналитические системы, построенные с помощью инструментальной системы MDAttr, внедрена автоматизация администрирования ХД, что позволяет расширить область применения данных систем за счет снижения сложности формирования ХД путем использования графического пользовательского интерфейса. Автоматизация администрирования представляет прикладную сторону современных научных исследований и без нее невозможно быстрое создание ИАС на базе уникальной инструментальной системы интегрированного OLAP анализа данных MDAttr (*автор: А.А. Ветров*).

Предложена методика автоматизированного построения концептуальной модели предметной области. В основу методики входит полисистемное онтологическое представление предметной области, где составляющие онтологии представляют собой систему слоев (категорий), отображаемых друг в друга при помощи функторов. Разработана программная инфраструктура хранения слоев полисистемы с использованием существующих стандартных онтологий. Слой представляет собой часть онтологии (ядро), которая подвергается отображению в другой слой через функтор или является результатом такого отображения. Слои хранятся в онтологической базе в виде графов. Хранилище онтологий реализовано при помощи системы ClioPatria, использующей язык логического программирования Prolog в качестве языка реализации. Это позволяет создавать логические теории слоев непосредственно на сервере. Кроме того, декларативная сущность Prolog-а значительно упрощает задачу переноса реализаций теорий между слоями, т.е. порождение программ-аналогов. В хранилище онтологий загружен ряд онтологий, предназначенных для описания организационной структуры предприятий, сообществ и документов. Разработаны программные модули для представления аннотаций документов в стандарте Open Annotation и NEPOMUK (Network Environment for Personalized, Ontology-based Management of Unified Knowledge), а также данные физических и юридических лиц – FOAF в онтологическом хранилище, а также модули для порождения ан-



нотаций из результатов анализа текстов документов (*автор: к.т.н. Е.А. Черкашин*).

Реализован алгоритм раскладки уграфов на плоскости в виде отдельного модуля для программы визуализации графов Visual Graph. Алгоритм основан на семантически эквивалентных преобразованиях графа потоков управления: в графе выделяются регионы, имеющие одну входную и одну выходную вершину, которые в дальнейшем классифицируются и заменяются одной абстрактной вершиной. Сверка продолжается до тех пор, пока граф не преобразуется в одну абстрактную вершину, содержащую в себе всю иерархию вложенных программных структур. После завершения преобразования алгоритм производит рекурсивное развертывание абстрактных вершин, применяя заранее определенные шаблоны визуализации в зависимости от типа обрабатываемого региона (*автор: А.А. Михайлов*).