



РЕЗУЛЬТАТЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОГРАММАМ СО РАН

В 2008 году выполнялись исследования по 5 проектам приоритетных направлений фундаментальных исследований по программам СО РАН на 2007–2009 гг.

1. Математическая физика, математические проблемы механики, физики и астрономии.

Программа 1.2.1. Теория дифференциальных уравнений и математическая физика.

Проект 1.2.1.4. Качественный анализ эволюционных уравнений и систем управления.

№ гос. регистрации: 01.2.007 08579

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

Доказана теорема существования решения управляемой системы, главная часть которой представляет собой сумму субдифференциалов выпуклой собственной полунепрерывной функции и индикаторных функций выпуклых замкнутых множеств, являющихся значениями зависящей от времени многозначной функции. Эта многозначная функция рассматривается как внутреннее управление. Изучены зависимости решений от внутренних управлений.

Получены достаточные условия сильного и глобального экстремума для задач оптимизации мультипроцессов (гибридных систем) с общим конечным ограничением на стартовую и финальную позиции подсистем. Для случая функционально заданных совместных ограничений на конечные значения траекторий подсистем установлена связь полученных условий с принципом максимума Понтрягина и условия обращения этого необходимого критерия оптимальности в достаточный (без априорных предположений выпуклости, управляемости и нормальности).



Доказан принцип максимума (необходимое условие оптимальности первого порядка) для гладких задач импульсного управления с траекториями ограниченной вариации при наличии многоточечных фазограничений.

Исследована задача синтеза систем управления для механических систем с сухим трением на принципе декомпозиции. Получены новые условия стабилизации целевого множества с использованием релейных позиционных управлений. Для дифференциальных уравнений с разрывными и аддитивно входящими обобщенными функциями в правых частях доказано существование обобщенных решений с использованием соответствующих дифференциальных включений. Для систем с импульсными воздействиями изучена зависимость решений от параметров – величины и времени импульсного воздействия. Более детально изучены движения механических систем, представленных уравнениями Лагранжа второго рода.

Для дифференциальных уравнений с разрывными и аддитивно входящими обобщенными функциями в правых частях доказано существование обобщенных решений. Для систем с импульсными воздействиями изучена зависимость решений от параметров – величины и времени импульсного воздействия.

Исследованы задачи стабилизации и быстродействия для систем с запаздыванием. Указаны условия, когда оптимальное по демпфированию управление является одновременно оптимальным по быстродействию.

Изучены свойства стационарных решений начально-краевой задачи для вырождающегося интегро-дифференциального параболического уравнения второго порядка. Это нелинейное дифференциальное уравнение содержит нелокальные (интегральные) операторы типа Вольтера, Фредгольма и возникает при математическом моделировании диффузии ограниченной тороидальной плазмы поперек магнитного поля и ее равновесных конфигураций.

Получены новые формулы точных аналитических решений неавтономного эллиптического уравнения Лиувилля в двумерном координатном пространстве со



свободной функцией, зависящей специальным образом от произвольной гармонической функции.

Для трехосного гиростата на Кеплеровой орбите в центральном ньютоновском поле сил выяснено, когда возможно за счет выбора гиростатического момента системы обеспечить равновесие относительно орбитальной системы координат, при котором произвольная ось, заданная в связанной с гиростатом системе координат, совпадает с произвольной осью, заданной в орбитальной системе координат.

Развит универсальный геометрический подход, позволяющий строить бесконечные классы редукций для большого числа интегрируемых дифференциально-разностных уравнений, и показано, что каждое из ограничений, совместных с цепочкой Богоявленского, может быть записано в виде обыкновенного дискретного уравнения, обладающего достаточным набором первых интегралов.

В рамках квазиклассического приближения развита общая теория вывода эффективных токов и источников, порождающих процессы тормозного излучения произвольного числа мягких кварков и глюонов при рассеянии высокоэнергетической цветозаряженной частицы на термальных партонах горячей неабелевой плазмы. В явном виде вычислены эффективные токи и источники для случая рассеяния на одном или двух термальных партонах с излучением одного или двух мягких возбуждений.

Исследованы линейные дифференциально-разностные уравнения (ЛДРУ) различной структуры на основе метода полиномиальных квазирешений (ПК-решений). Метод ПК-решений основан на введении полинома некоторой степени, подстановка которого в исходную задачу порождает невязку, для которой получена точная аналитическая формула. Исследована начальная задача с начальной точкой для ЛДРУ второго порядка запаздывающего типа.



2. Теория систем; общая теория управления сложными техническими и другими динамическими системами, в том числе единая теория управления, вычислений и сетевых связей; теория сложных информационно-управляющих систем; групповое управление; распределенное управление.

Программа 3.10.1. Математическая теория управления при возмущениях и неопределенности.

Проект 3.10.1.1. Устойчивость и управление непрерывно-дискретными и другими гетерогенными динамическими системами.

№ гос. регистрации: 01.2.007 11727

Научный руководитель – академик РАН С.Н. Васильев.

В терминах существования сублинейных вектор-функций Ляпунова (ВФЛ) получены необходимые и достаточные условия робастной экспоненциальной устойчивости и диссипативности псевдолинейных управляемых систем с неопределенностями и возмущениями, обобщающие результаты Е. Пятницкого на случай полуограниченных в энергетической норме операторов в гильбертовых пространствах и открывающие перспективу конструктивного построения ВФЛ для анализа устойчивости сложных систем с неопределенностями и возмущениями, содержащих как конечномерные, так и распределенные (бесконечномерные) подсистемы, путем сведения проблемы к известным вычислительным процедурам решения спектральных задач.

Для сложных (в смысле В.В. Румянцева) управляемых механических систем с негладкими функционалами диссипативных и потенциальных сил обоснована представимость их математических моделей в форме субдифференциальных включений типа абстрактных уравнений Лагранжа второго рода, обобщенные скорости и конфигурации в которых являются элементами соответственно гильбертова пространства H и плотно вложенного рефлексивного банахова пространства V , обобщенные силы – элементами сопряженного к V пространства W . Это позволя-



ет охватить гетерогенные модели с обыкновенными и частными производными широкого класса сложных механических систем как с сосредоточенными, так и распределенными параметрами, а также разрывными силами и управлениями, сохраняя возможность учета особенностей лагранжевой структуры динамических уравнений механики и придания универсальности формулировкам результатов по устойчивости (ср. В.В. Румянцев, В.В. Болотин, Н.А. Кильчевский, Ф.Л. Черноусько, С.Г. Крейн, В.Г. Вильке и др.).

Получены условия внутренней устойчивости линейных формаций, состоящих из небольшого числа объектов (2, 3). Для случаев последовательного и параллельного расположения объектов получены необходимые и достаточные условия. В случае многолидерного расположения объектов получены необходимые и близкие к ним достаточные условия. Условия внутренней устойчивости для произвольных линейных формаций получаются как объединение соответствующих условий малых подформаций.

На основе прямого метода расчета программных управлений предложен строго обоснованный подход к построению разомкнутых робастных автоматических систем, гарантирующих исполнение задающего воздействия с заданной точностью. Обоснована корректность использования в адаптивном алгоритме расчета программных управлений линеаризованной редуцированной модели как следствие доказанной устойчивости прямого алгоритма относительно параметров модели.

Разработан способ стабилизации до равномерной асимптотической устойчивости положения равновесия механической системы при заданном однородном нелинейном нестационарном поле позиционных сил за счет присоединения однородных потенциальных, специальным образом выбранных гироскопических и линейных диссипативных сил. При этом неконсервативная компонента силового поля не компенсируется и остается неизменной в замкнутой системе, хотя и должна учитываться при конструировании стабилизирующих управляющих сил. Для систем с положительно определенным однородным нестационарным потенциалом доказана возможность стабилизации одними лишь линейными диссипативными



силами с полной диссипацией. Тем самым установлено принципиальное отличие случая однородного потенциала от случая нестационарных линейных потенциальных сил, где одного вязкого трения для стабилизации недостаточно.

Получены условия асимптотической устойчивости положения равновесия механической системы при нестационарном доминировании потенциальных сил (неограниченно растущий со временем коэффициент при потенциальных силах в уравнениях движения). Эти условия формулируются в виде обычных требований к потенциальной энергии и ограничений на скорость роста коэффициента при потенциальных силах. Выявлен целый класс механических систем, положение равновесия которых является асимптотически устойчивым независимо от слагаемых второго и более высокого порядка малости, а устойчивость нестационарных уравнений линейного приближения не является экспоненциальной.

Выявлен класс систем, сохраняющих свойство асимптотической устойчивости при произвольных по координатам отрицательных обратных связях (в таком случае матрица уравнений линейного приближения называется аддитивно D -устойчивой). Получены новые необходимые и новые достаточные условия D -устойчивости и аддитивной D -устойчивости матриц. Для специального класса матриц, называемых свикобианами и применяемых в моделях математической экологии, получены конструктивные необходимые и достаточные условия одновременного наличия вышеназванных свойств.

С помощью созданного программного комплекса LinModel проведен анализ динамики системы из 18 взаимосвязанных твердых тел с 32 степенями свободы, находящейся в ньютоновском центральном поле сил. Рассмотренная система представляет собой спутник с тремя гиродинами, к спутнику также присоединены антенна, солнечные панели и две платформы с двигателями. Моделирование механических систем (построение нелинейных и линеаризованных дифференциальных уравнений движения в форме Лагранжа 2-го рода), а также исследование вопросов устойчивости и стабилизации невозмущенного движения проводится на



ПЭВМ посредством символьных или символьно-численных вычислений. Построенные области устойчивости и стабилизации имеют графическое представление.

Получены необходимые условия D-устойчивости матриц пятого порядка в терминах элементов матриц и достаточные условия D-устойчивости матриц пятого порядка. Построены примеры D-устойчивых матриц пятого порядка с параметром.

Получены матричные формы первых интегралов дифференциальных уравнений потенциальных систем с гироскопическими силами. Найдены примеры нелинейных сил, при которых сохраняется первый интеграл, имеющий место для линейной части дифференциальных уравнений движения. Рассмотрены примеры гироскопической стабилизации систем с тремя и четырьмя степенями свободы. Показана возможность стабилизации системы, описывающей динамику электрического заряда в магнитном поле, добавлением диссипативных и ускоряющих сил и невозможность такой стабилизации для системы, описывающей динамику левитрона (тела, несущего электрический заряд, в электростатическом поле). Для левитрона построена 3D-область изменения параметров для гироскопической стабилизации. Результаты дополняют известные.

Для уравнений Эйлера на алгебрах Ли, допускающих в некоторых случаях механическую интерпретацию, на основе модификаций методики Рауса–Ляпунова выделены семейства инвариантных многообразий, доставляющие стационарное значение элементам алгебры первых интегралов задачи, и проведено их качественное исследование. В частности, исследованы особенности таких семейств инвариантных многообразий.

Проведено исследование асимптотической устойчивости стационарного движения спутника с гироскопами на круговой орбите. Необходимые условия устойчивости получены на основе теоремы Рауса–Гурвица. Достаточные условия получены на основе второго метода Ляпунова. Проведен анализ слагаемых в функции Ляпунова выше второго порядка.



Получен критерий знакоопределенности форм четвертого порядка двух переменных и показаны примеры его применения к системам обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка. Приводятся разные способы получения условий знакоопределенности: условно-экстремальный, основанный на использовании теоремы Финслера и разложением в квадратичные формы. Приводятся примеры применения полученного критерия к задачам устойчивости тривиального решения нелинейной системы второго порядка с двумя простыми нулевыми корнями характеристического уравнения.

Для двух динамических систем, допускающих дополнительные полиномиальные первые интегралы третьей и шестой степени соответственно, исследованы вопросы существования и устойчивости инвариантных многообразий. С использованием средств компьютерной алгебры и метода Рауса–Ляпунова выделен ряд инвариантных многообразий указанных систем, получены достаточные условия их устойчивости.

Изучена возможность сведения алгебро-дифференциальных систем (АДС) вида $(Ax)' = Bx + f(x, t)$ с регулярной парой матриц (A, B) и вырожденной матрицей A к невырожденной системе обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) $x' = \phi(x, t)$. Найдены необходимые и достаточные условия такой сводимости. Класс систем, удовлетворяющих полученным условиям, содержит, в частности, линейные системы, нелинейные системы с парой матриц (A, B) индекса 1 и системы с полиномиальной правой частью.

Для численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка (задача Коши) построено семейство двухшаговых Р-устойчивых схем четвертого порядка, которые эффективней известных алгоритмов.

В терминах входных данных сформулированы достаточные условия существования единственного непрерывно-дифференцируемого решения некоторых классов вырожденных интегро-дифференциальных уравнений и линейных дифференциально-алгебраических уравнений второго порядка. Для таких задач предложены и обоснованы численные методы решения.



Проведено сравнение методов Розенброка для численного решения ОДУ первого порядка с новыми неклассическими разностными схемами. Показано, что для автономных ОДУ в некоторых случаях они совпадают по эффективности. Однако для неавтономных ОДУ, как показали численные эксперименты, новые неклассические схемы эффективней методов Розенброка.

Введено понятие индекса дифференциально-алгебраического уравнения в частных производных (ЧДАУ) в квазилинейном случае. Наряду с типом уравнения индекс системы является важнейшей характеристикой задачи. Под индексом понимается пара натуральных чисел, определяющих порядки производных входных данных, от которых зависит решение ЧДАУ. Получены условия непрерывной зависимости решений ЧДАУ от параметра. Для систем индекса (1,1) рассмотрена задача со смешанными начально-краевыми условиями. Доказана локальная разрешимость. Система индекса (1,1) в общем случае включает в себя взаимосвязанные подсистемы дифференциальных уравнений в частных производных, обыкновенных дифференциальных уравнений по x , обыкновенных дифференциальных уравнений по t (вторая переменная является параметром), алгебраических уравнений. Для численного решения таких систем была применена неявная трехточечная разностная схема. Доказана разрешимость этой разностной схемы при выполнении условий теоремы существования.

Выделен класс нелинейных алгебро-дифференциальных систем, которые могут наследовать качественные свойства, присущие линейной системе первого приближения. Этот класс включает в себя АДС, обладающие так называемой эквивалентной формой, в которой разделены «дифференциальная» и «алгебраическая» части. Впервые предложена методика исследования качественных свойств существенно нелинейных АДС произвольно высокого индекса неразрешенности по первому приближению. В предположениях, обеспечивающих существование эквивалентной формы, получены признаки полной управляемости для линейных АДС с гладкими коэффициентами. Показано, что в линейном случае полная управляемость обеспечивает и локальную нуль-управляемость. Доказано, что пол-



ная управляемость или локальная нуль-управляемость системы первого приближения влечет за собой локальную нуль-управляемость исходной нелинейной АДС.

Исследовалось свойство нерезонансности (устойчивости в смысле ограниченный вход – ограниченный выход) линейных АДС. В предположениях, обеспечивающих существование эквивалентной формы, в терминах фундаментальной матрицы решений получены критерии устойчивости по Ляпунову, асимптотической и экспоненциальной устойчивости. Доказано, что нерезонансность линейной АДС эквивалентна экспоненциальной устойчивости соответствующей однородной системы. Показано, что в стационарном случае понятия нерезонансности, устойчивости по выходу и нерезонансности по выходу совпадают.

Получены достаточные условия разрешимости и единственности решения начально-краевой задачи для линейной вырожденной гиперболической системы уравнений в частных производных специального вида с переменными матричными коэффициентами с разнонаправленными характеристиками. Под характеристиками вырожденной системы уравнений в частных производных понимались характеристики разрешенных систем уравнений в частных производных, содержащихся во внутренней структуре вырожденной системы. Доказательство теоремы существования проведено конструктивным методом, опираясь на идею Эйлера с обоснованием устойчивости и сходимости неявной трехточечной разностной схемы. Доказательство единственности получено энергетическим методом.

Проект 3.10.1.2. Методы оптимального управления при структурных воздействиях и неопределенностях с приложением к техническим и социально-эколого-экономическим системам.

№ гос. регистрации: 01.2.007 08580

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

Дано полное описание поведения множеств достижимости при больших временах для линейных периодических систем с импульсным управлением. Получены асимптотические формулы для множеств достижимости и их форм: найден



масштабирующий матричный множитель, который определяется по матрице системы, дано описание нормализованного множества достижимости. Эволюция нормализованных множеств достижимости наиболее инвариантным образом описывается как эволюция форм множеств достижимости. Совокупность A всех предельных форм множеств достижимости (аттрактор) параметризуется гладким многообразием P специальной структуры, являющимся расслоением над окружностью с торическим слоем. Имеется непрерывное отображение Ψ из P на A . При этом кривая форм множеств достижимости асимптотически близка образу при отображении Ψ выделенной кривой Γ , плотной в P .

Разработана программно-алгоритмическая реализация метода улучшения управления дискретно-непрерывными системами при ограниченном ресурсе импульсного управления. Рассмотрен класс дискретно-непрерывных динамических систем, удовлетворяющих условию корректности. Алгоритмы улучшения используют численную редукцию задачи с использованием метода замены времени. При решении редуцированной задачи применялись модификации вычислительных алгоритмов, основанных на нелокальных формулах приращения функционала и метода проекции градиента. Проведен вычислительный эксперимент.

Разработаны алгоритмы слабого улучшения первого и второго порядка для решения задач оптимального управления логико-динамическими системами. Рассматриваемые задачи имеют два существенных отличия от классических задач оптимального управления. Во-первых, в правых частях дифференциальных уравнений и в функционале имеются целочисленные (дискретные) переменные, во-вторых, дискретные переменные могут изменять свое значение в конечном числе точек по времени и это число может быть зафиксировано. Значение дискретной переменной в текущий момент времени зависит от значения этой переменной в предыдущий момент времени.

Используя достаточные условия оптимальности в форме В.Ф. Кротова, были получены алгоритмы слабого улучшения первого и второго порядка. Для алгоритмов второго порядка рассматривалась квадратичная аппроксимация приращения



функции Лагранжа, а функция Кротова задавалась в классе квадратичных. Одним из параметров алгоритма является некоторое $\xi \in T$ (T – заданный отрезок времени), таким образом, варьирование управления идет на конце заданного отрезка времени, а параметр ξ обеспечивает близость начального процесса и полученного.

Для полученных алгоритмов (далее базовых) были разработаны модификации. Первая модификация получена из того, что все условия, наложенные на функции для получения основных конструкций базовых алгоритмов, выполняются для всех состояний логической части системы, в том числе и для начального приближения. Таким образом, удалось получить соотношения, которые решаются гораздо проще, чем аналогичные в базовом алгоритме. Вторая модификация получена при варьировании управления в середине отрезка. Для всех алгоритмов (базовых и их модификаций) доказаны теоремы о релаксационности.

Исследована задача оптимизации линейной по состоянию канонической гиперболической системы с управляемыми начальными условиями в виде дифференциальных связей. Для данного класса задач сформулирована теорема о достаточных условиях оптимальности в форме Кротова, в которой используются два функционала Кротова в соответствии с количеством переменных состояния. При выводе условий оптимальности функционалы Кротова выбираются из класса линейных функционалов. В результате изучаемая задача свелась к двум задачам оптимального управления системами обыкновенных дифференциальных уравнений, что по существу является вариационным принципом максимума для рассматриваемого класса задач.

Для задачи оптимизации полулинейной гиперболической системы с управляемыми начально-краевыми условиями в виде дифференциальных связей сформулирована теорема о достаточных условиях оптимальности в форме Кротова. На основе линейного функционала Кротова получены необходимые условия выполнения достаточных условий оптимальности, которые совпадают с необходимыми условиями конечномерного принципа максимума для данного класса задач. Построен алгоритм последовательного улучшения управления первого порядка.



Разработана алгоритмическая и программная реализация численной схемы нелокальной оптимизации позиционных управлений в нелинейных дифференциальных системах с интегральным целевым функционалом и с заданным целевым множеством. Для определения решения в границах трубки управляемости (разрешимости) системы разработан алгоритм аппроксимации множеств достижимости по принципу сечений. Разработанная вычислительная технология применена к исследованию модели оптимального маневрирования самолета в вертикальной плоскости для защиты его задней полусферы от ракеты класса “воздух-воздух”.

Разработаны основы теории многометодной технологии решения экстремальных задач. Задача многометодных технологий формализована как задача многоэтапного синтеза алгоритмов. Рассмотрен случай применения многометодных технологий для функций многих переменных и заданного набора алгоритмов. В результате задача была сведена к задаче оптимального управления для дискретного процесса, для которой получено уравнение Беллмана со скалярной фазовой переменной.

Произведена программно-алгоритмическая реализация методов слабого улучшения для задач оптимального управления многоэтапными процессами и с сетевой структурой тестирования в виде программного комплекса. Проведено многократное тестирование вычислительного комплекса, показавшее его работоспособность. С использованием разработанных программ проводилось решение задачи оптимального управления сбросом загрязняющих веществ на примере р. Селенга. Полученные результаты расчетов показали, что при соблюдении определенных норм сбросов загрязнений, их концентрация не превысит ПДК, при этом обеспечивается максимально возможная суммарная прибыль.

В конструкциях специальных мер и оператора Релея–Ритца получен характеристический признак разрешимости задачи реализации Калмана–Месаровича в классе обыкновенных квазилинейных стационарных дифференциальных уравнений в сепарабельном гильбертовом пространстве. Исходная модель динамической системы, подлежащей дифференциальной реализации, рассмотрена в концепции



“черного ящика”, т.е. как некоторый процесс “вход-выход”, полученный экспериментально. Проведено исследование алгебраических и топологических свойств фазовых траекторий управляемых (гидромеханически) процессов гальваностегии, допускающих модельную реализацию Калмана–Месаровича в классе линейных инвариантных во времени многосвязных дифференциальных уравнений состояния конечного (минимального) динамического порядка с программным управлением и стационарным оператором многомерного выходного сигнала.

Исследованы качественные свойства апостериорных динамических процессов, допускающих непрерывную реализацию Калмана–Месаровича в классе нелинейных инвариантных во времени многомерных дифференциальных систем минимального динамического порядка в отсутствие постоянно действующих программных управляющих воздействий. Предложена конструктивная процедура для получения таких реализаций, проиллюстрированная на примере вращательного (с демпфированием) движения, описываемого уравнениями Эйлера.

Проведена идентификация имитационной дискретно-непрерывной информационно-логико-математической модели динамики состояний механических систем, для фазовых пространств состояний подсистемы деградационных процессов (рис. 8).

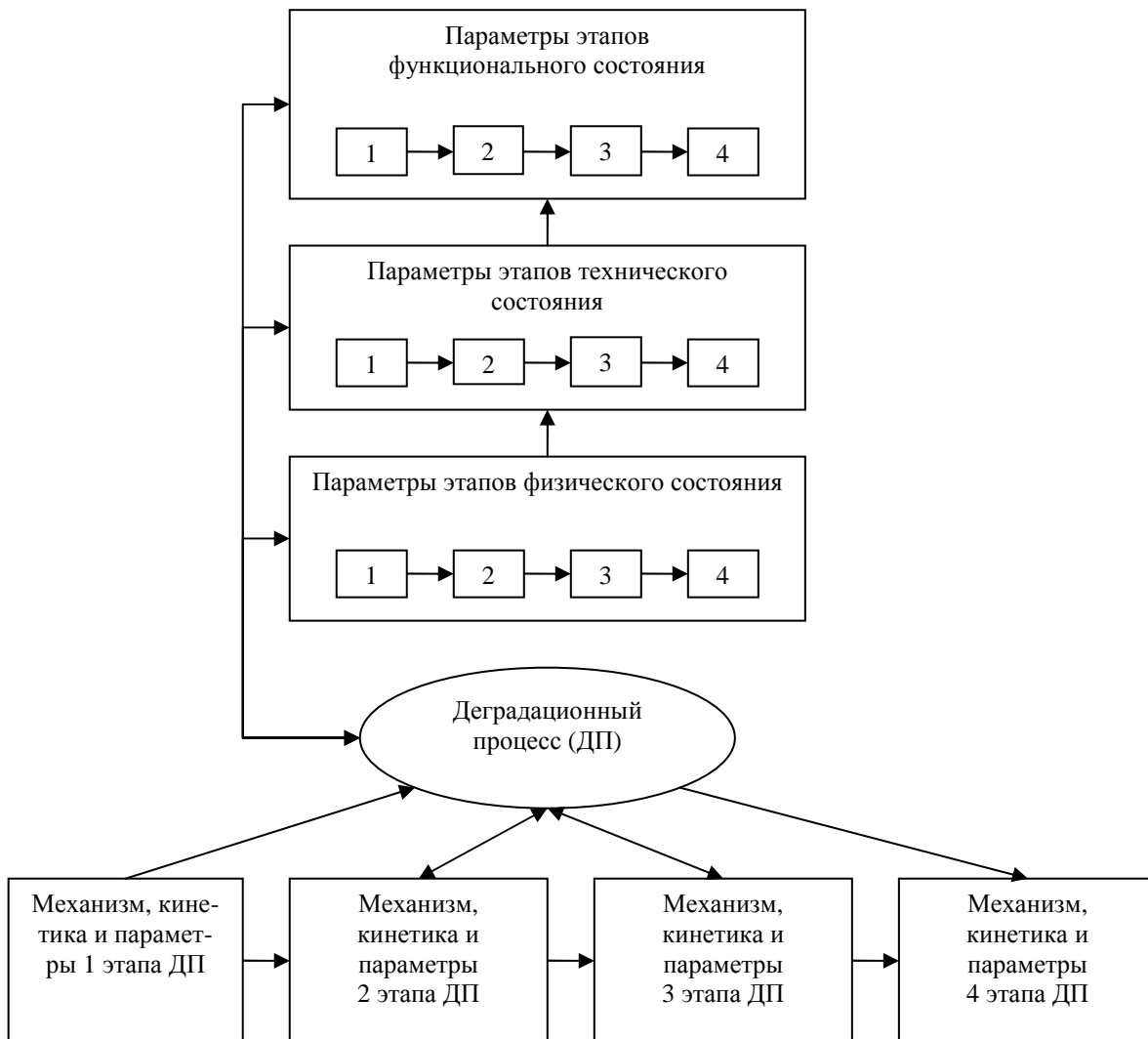


Рис.8. Классы параметров дискретно-непрерывной информационно-логикоматематической модели динамики состояний механических систем

Предложен алгоритм прогнозирования технического состояния сложных механических систем на основе модели причинно-следственного комплекса изменения состояния и продукционного подхода. Усовершенствованы принципы и методы обработки неполной информации посредством введения коэффициентов, учитывающих достоверность и полноту исходных данных.

Разработаны информационная модель динамики формирования аварий и алгоритм идентификации и прогнозирования аварий на основе прецедентного подхода.

Усовершенствованы алгоритмы, обеспечивающие предоставление метадан-



ных и реализацию базовых функций информационной системы: ввод, просмотр, поиск и модификация информации для автоматизации создания информационных систем на основе метаданных.

Разработан алгоритм автоматизированного создания и модификации информационных структур на основе имеющихся баз данных предметной области, в частности, структуры прецедента для автоматизации прецедентного подхода в различных предметных областях и структуры имитационной модели для исследования динамики состояний сложных механических систем.

На основе разработанной компонентной технологии автоматизации исследований сложных механических систем осуществлено моделирование, разработана архитектура и осуществлена частичная реализация компонентов, обеспечивающих использование методов рассуждения на основе прецедентов и рассуждений по правилам (рис. 9).

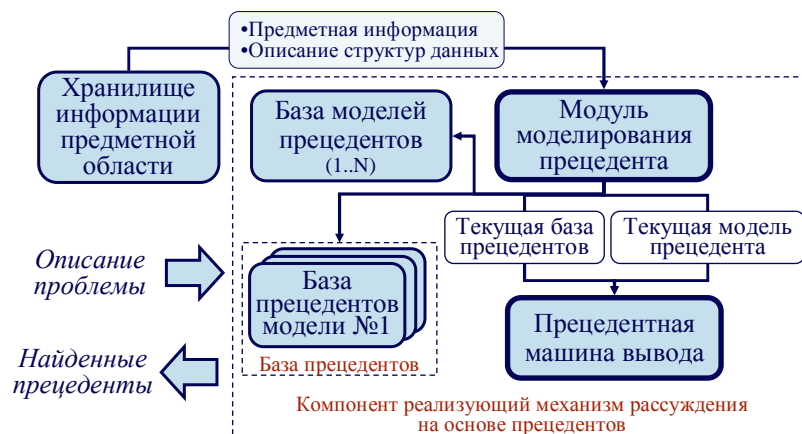


Рис. 9. Архитектура компонента рассуждения на основе прецедентов

Проведен анализ моделей хозяйственного развития азиатской части России, учитывающих экологические факторы, разработаны подходы к идентификации параметров экологического блока, основанные на данных «восстановленного» экспертами межотраслевого баланса и результатах идентификации существующих эколого-экономических моделей Байкальского региона.

Проведены модификации программной системы интеллектуальной поддержки процесса математического моделирования медико-эколого-экономических систем (СИППММ) с целью идентификации параметров и проведения многова-



риантных расчетов для таких моделей. С использованием нового варианта СИППММ проведены сценарные расчеты для эколого-экономических моделей азиатской и европейской частей России. Разработан первый вариант базы знаний экспертной системы, используемой СИППММ для поддержки процесса построения моделей динамики заболеваемости населения городов Иркутской области.

С позиций макрокинетики рассмотрены процессы в донных отложениях (естественной водонасыщенной пористой среде с переменной пористостью по глубине осадка) современных водоемов. Получено и исследовано решение задач, описывающих поглощение кислорода донными отложениями, многостадийный распад органического вещества, формирование распределения продуктов распада в поровых растворах. Вместо концепции барьерного окисленного слоя донных отложений, препятствующего свободному диффузионному обмену растворенными веществами с придонными водами, рассмотрено представление о переходных процессах в осадках водоемов с временным катастрофическим дефицитом кислорода. Выполнено описание и исследован процесс формирования диффузионных потоков растворенных веществ, возникающих в осадках неглубокого водоема при квазипериодическом изменении условий на границе раздела “вода-дно” и придонном слое воды.

Построена математическая модель динамики таежного ландшафта, описываемая дискретной управляемой системой. Модель идентифицирована применительно к лесным массивам для Тайшетского района Иркутской области. Поставлена задача оптимального управления лесными ресурсами по комплексному эколого-экономическому критерию. Выполнены расчеты по поиску оптимальных режимов. Для математической модели туристско-рекреационной особой экономической зоны на математической модели выполнена серия сценарных расчетов с учетом различных демографических факторов.

Показано, что энергетический потенциал, сосредоточенный на Байкальских рифтовых зонах, экспонированных повышенной интенсивностью инфракрасного излучения (данные космомониторинга), активно используется биологическими



системами, при этом в качестве основного компонента первичных экосистем выступают биогеоценозы темнохвойных, преимущественно кедровых, лесных массивов. Проведено построение нелинейной математической модели типа “вход-выход” для процесса азотирования в распределенной среде электростатического поля и используемой для технологического расчета параметров твердости материала обрабатываемой поверхности силовой металлодетали, ее удельного механического износа, глубины получения азотированного слоя. Данная регрессионная модель использует идентифицированные (на базе полученных экспериментальных данных) многомерные квадратичные уравнения, что позволяет адекватно описывать процесс нелинейной диффузии “азото-легирования” в широком диапазоне вариаций степени диссоциации аммиака, температуры и длительности процесса, а также электрического напряжения на паре “анод-катод”.

Проект 3.10.1.3. Поиск глобальных решений в невыпуклых задачах исследования операций и оптимального управления.

№ гос. регистрации: 01.2.007 08581

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

Разработан комплекс программ, предназначенный для поиска оптимистических решений в линейно-линейных и квадратично-линейных задачах двухуровневого программирования на основе методики, базирующейся на сведении двухуровневых задач к семейству задач математического программирования с d.c. целевой функцией (т.е. представимой в виде разности двух выпуклых функций). Проведено тестирование разработанного программного комплекса на большом спектре случайно сгенерированных задач различной сложности и размерности (до 150×150), продемонстрировавшее эффективность предложенных методов.

Разработан первый вариант программы по решению линейно-линейных двухуровневых задач на основе алгоритма глобального поиска для задач с d.c. ограничением-равенством. Проведен вычислительный эксперимент по решению серий тестовых задач размерности до 200×200 . Осуществлено численное сравнение



двух методик поиска оптимистического решения в линейно-линейных двухуровневых задачах (посредством решения семейства задач с d.c. целевой функцией и посредством решения задачи с d.c. ограничением). Программная реализация второго подхода показала себя более эффективной (в смысле размерности и времени решения задач).

Разработан модифицированный метод глобального поиска в линейно-линейных двухуровневых задачах, базирующийся на решении семейства задач с d.c. целевой функцией, который включает в себя блоки генетического алгоритма, используемые для решения вспомогательной задачи (построения аппроксимации поверхности уровня выпуклой функции, задающей базовую невыпуклость в исходной задаче). Тестирование модифицированного метода глобального поиска показало перспективность применения блоков генетического алгоритма для этой цели.

Исследованы взаимосвязи двух классов нелинейных двухуровневых задач в оптимистической постановке (с квадратичными функциями на верхнем и нижнем уровнях (а) и с d.c. целевой функцией на верхнем уровне и квадратичной функцией на нижнем (б)) с задачами математического программирования. Показано, что поиск решения в таких задачах эквивалентен решению семейства невыпуклых задач математического программирования специального вида с d.c. целевой функцией. На основе этих взаимосвязей предложены и обоснованы новые методы локального и глобального поиска в нелинейных двухуровневых задачах указанных классов. Доказана взаимосвязь задач двухуровневого программирования (а) в пессимистической (гарантированной) постановке и (б) поиска оптимистического решения в задаче с оштрафованным критерием нижнего уровня.

Изучены свойства решений этих задач и показано, что когда параметры возмущения стремятся к нулю, решения задач семейства (б) сходятся к некоторому решению задачи (а). Это обобщает известные результаты Д.А. Молодцова и В.В. Федорова (МГУ, группа Ю.Б. Гермейера) на случай связанных (через допустимые множества) переменных верхнего и нижнего уровней.



Предложен новый метод локального поиска и доказана его сходимость для задачи оптимального управления (ОУ) линейной по состоянию системой обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) с максимизацией интегрального критерия качества, задаваемого выпуклой по состоянию подынтегральной функцией.

Предложена общая стратегия глобального поиска для задачи ОУ линейной системой ОДУ с d.c. терминальным ограничением-неравенством, представимым разностью двух выпуклых функций, на основе необходимых и достаточных условий глобальной оптимальности. Доказана глобальная сходимость стратегии.

Разработана новая методика генерирования тестовых невыпуклых задач ОУ с целевым d.c. терминальным функционалом и d.c. неравенством. Это позволило построить примеры задач ОУ, в которых известно большое количество (около 3^{10}) процессов, удовлетворяющих принципу максимума Понтрягина, но не являющихся при этом глобально оптимальными.

Проведено численное тестирование разработанных алгоритмов на семействе построенных тестовых невыпуклых задач ОУ. Результаты численного эксперимента доказали высокую эффективность разработанных алгоритмов глобального поиска, когда, например, среди 3^{10} удовлетворяющих принципу максимума Понтрягина процессов управления алгоритм отыскал единственный глобально оптимальный процесс за приемлемое время.

Проведен вычислительный эксперимент по сравнению предложенного ранее алгоритма глобального поиска (АГП) для решения линейных задач дополнителности с некоторыми специализированными программными средствами на сериях задач размерности от 2 до 400.

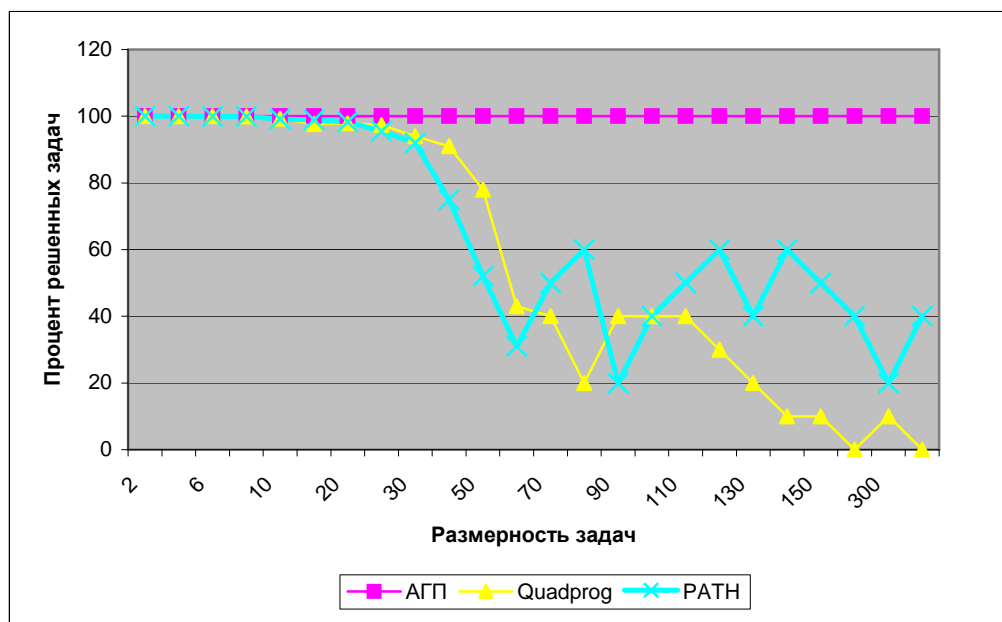


Рис. 10. Результаты сравнения АГП с подпрограммой Quadprog из известного пакета Matlab и решателем PATH, специально предназначенным для решения линейных задач дополнительности

Результаты эксперимента показали, что при повышении размерности задачи алгоритм глобального поиска оказывается более надежным по сравнению с двумя другими подходами и значительно у них выигрывает при росте размерности задач.

Для задачи математического программирования с одним нелинейным d.c. ограничением-равенством доказаны необходимые и достаточные условия глобальной оптимальности. На их основе для поиска оптимистического решения в линейно-линейной двухуровневой задаче (поскольку она может быть представлена в виде задачи оптимизации с ограничением-равенством) предложены новые алгоритмы локального и глобального поиска, учитывающие специфику исследуемой задачи.

Для класса сублинейных операторов, определенных на сепарабельных банаховых пространствах, со значениями в пространствах непрерывных функций на компактах доказано, что можно выбрать различные вложения в универсальное пространство – пространство компактных линейных операторов, определенных на сепарабельном гильбертовом пространстве, со значениями в пространстве непрерывных функций.



Доказано, что пространство компактных линейных операторов, определенных на сепарабельном гильбертовом пространстве, со значениями в пространстве ограниченных полунепрерывных снизу функций, заданных на стоун-чеховской компактификации нормального топологического пространства, с топологией простой сходимости является универсальным относительно вложения субдифференциалов непрерывных сублинейных операторов, определенных на сепарабельных банаховых пространствах, со значениями в конусе ограниченных полунепрерывных снизу функций на нормальных топологических пространствах. При этом можно выбрать также аддитивные и положительно однородные вложения в универсальное пространство.

Разработан точный алгоритм отделения для многогранника задачи о рюкзаке, в котором отделение осуществляется на проекции многогранника в пространстве дробных переменных, и затем полученная разделяющая гиперплоскость продолжается на пространство исходных переменных. Алгоритм использован при реализации метода ветвей и отсечений для решения обобщенной задачи о назначениях и задачи о p -медиане с ограничениями на ресурсы. Проведен вычислительный эксперимент по тестированию алгоритма на серии тестовых примеров, который показал высокую эффективность по сравнению с известными подходами.



Рис. 11. Сравнение различных подходов (B&C – разработанный метод, CPLEX – коммерческий решатель ILOG CPLEX, B&P – метод ветвей и оценок) на одной серии примеров задачи о p -медиане с ограничениями на ресурсы. Общее время счета было ограничено одним часом. B&C алгоритм во многих случаях находит оптимальное (или наилучшее известное) решение быстрее

Разработан эвристический алгоритм для задачи размещения предприятий с ограничениями на мощность производства, основанный на релаксации Лагранжа. Алгоритм позволяет получить как верхнюю, так и нижнюю оценку оптимального решения задачи. Вычислительный эксперимент показал эффективность предложенного подхода по сравнению с известными на тестовых примерах. В таблице представлены численные результаты на примерах с 2000 предприятий и клиентов, где указано время счета и относительная погрешность $gap = (UB - LB)/LB \cdot 100\%$, где UB и LB значения верхней и нижней оценок, соответственно.



Пример	P2000-22	P2000-23	P2000-24	P2000-25	P2000-26	P2000-27	P2000-28	P2000-29	P2000-30	P2000-31	P2000-32	P2000-40
gap (%)	0.74	0.90	0.75	0.54	0.54	0.58	0.46	0.51	0.46	0.87	0.76	0.92
Время (с)	320. 5	305. 8	374. 2	342. 8	170. 7	158. 2	141	161. 7	140. 6	228. 7	109. 5	64.3

Произведено обобщение непрерывной постановки известной NP-трудной комбинаторной задачи поиска максимальной клики (ЗМК) на графе как непрерывной задачи с d.c. ограничением. В новой постановке учитываются свойства матриц смежности основного и дополнительного графов. Доказана эквивалентность этой постановки и ЗМК. Усовершенствован алгоритм по решению ЗМК, позволивший решить ЗМК на некоторых графах из библиотеки DIMACS (<ftp://dimacs.rutgers.edu/pub/challenge/graph/benchmarks>), где предыдущим вариантом алгоритма решение не было найдено.

Произведено обобщение результатов, полученных для ЗМК, на задачу о максимальной взвешенной клике (ЗМБК). Проведен вычислительный эксперимент по решению ЗМБК в новой постановке на графах из библиотеки DIMACS, который показал эффективность по качеству решения усовершенствованного R-алгоритма по сравнению с алгоритмом QualexMS (<http://clp.pisem.net/LINKS/TSP/NP-CompletenessPage\ 20010710.htm>), а на “С” графах с количеством вершин более 1000 с MS-алгоритмом итальянских ученых.

Исследована структура многогранника двухуровневой задачи размещения. Предложено и обосновано новое семейство правильных неравенств. С использованием этого семейства реализован метод отсечений, позволивший получить нижнюю оценку, которая оказывается не хуже нижних оценок, представленных в литературе.

На основе анализа связи многогранника двухуровневой задачи с многогранником задачи упаковки множеств предложено еще одно семейство правильных



неравенств. Доказана теорема о том, что новая нижняя оценка, получаемая с помощью указанных двух семейств неравенств, оказывается не хуже оценок, представленных в литературе.

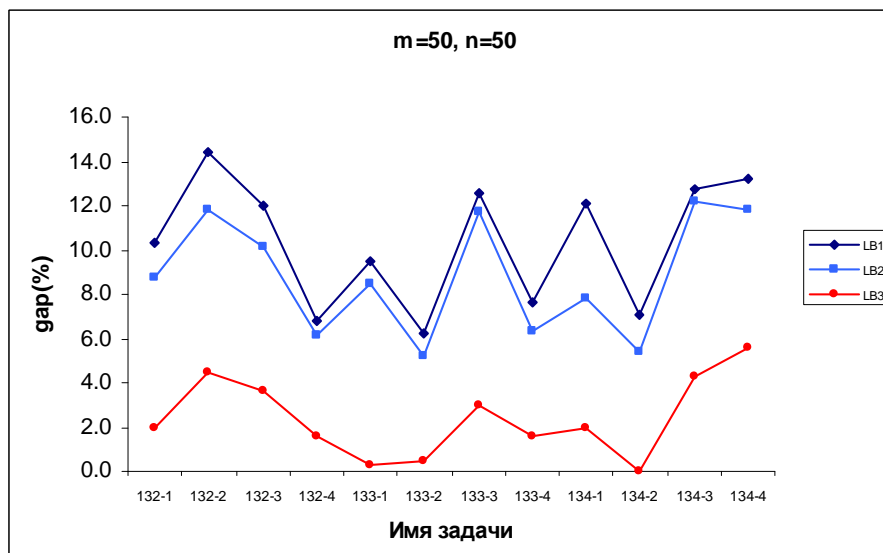


Рис. 12. График значений разрыва целочисленности ($gar = (Opt - LB)/LB$, Opt – оптимальное значение, LB – значение нижней оценки) для серии задач для трех формулировок:
 LB_1 – исходная формулировка;
 LB_2 – лучшая, из найденных в литературе;
 LB_3 – полученная после работы метода отсечений

Получено обобщение метода аналитического конструирования оптимальных регуляторов на случай постоянно действующих стационарных, стохастических возмущений, моделирующихся прохождением белого шума через линейную систему с постоянными параметрами (формирующий фильтр), с приложением к аналитическому конструированию виброзащитных систем. Показана возможность технической реализации синтезированной виброзащитной системы с помощью упруго-демпфирующих подвесов и амортизаторов с преобразованием движения.



4. Проблемы создания глобальных и интегрированных информационно-телекоммуникационных систем и сетей. Развитие технологий grid.

Программа 4.5.2. Разработка научных основ распределенной информационно-аналитической системы на основе ГИС и Веб-технологий для междисциплинарных исследований.

Проект 4.5.2.1. Интеллектуальные методы и инструментальные средства создания и анализа интегрированных распределенных информационно-аналитических и вычислительных систем для междисциплинарных исследований с применением ГИС, GRID- и Веб-технологий.

№ гос. регистрации: 01.2.007 08582

Научные руководители: чл.-к. РАН И.В. Бычков, д.т.н. Г.А. Опарин, к.т.н. Г.М. Ружников.

Реализован интерфейс Web Map Service (WMS) в серверной части средства публикации электронных карт в Интернет/интранет. В результате поддержана возможность просмотра электронных карт, размещаемых на сервисе геоданных ИНЦ СО РАН с использованием любых клиентских приложений WMS, которые совместимы по требованиям к версии интерфейса и используемой системе координат.

Для реализации прототипа сервиса геоданных институтов ИНЦ СО РАН разработаны конвертеры из наиболее популярных форматов электронных карт в формат SMD, используемый для публикации электронных карт в Интернет/интранет. Поддерживаются форматы ГИС ArcView 3.x (часть информации читается из файла проекта), MapInfo, Панорама. Реализован конвертер из формата ГИС КАМАТ, в котором представлена топооснова Иркутской области масштабов 1:1000000 и 1:200000.

Разработана и реализована технология запроса и регламентированной передачи пространственной информации между локально-вычислительными сетями, которая может быть использована для контроля за распространением пространственной информации на сервисе геоданных.



Доработано программное обеспечение для создания файлов MRG. Формат MRG для работы с растровыми данными большого объема обеспечивает компактное хранение данных (файл занимает меньше, чем исходные данные, упакованные архиватором ZIP), при этом в нем явно представлены менее детальные уровни разрешения, что позволяет быстро получать растры низкого разрешения без необходимости обработки всех исходных данных, в результате в формате MRG были представлены все опубликованные данные SRTM (рельеф с шагом 30'' на всю территорию Земли от 57° ю.ш. до 60° с.ш.). Результирующий файл занял 10 Гб, при этом на персональном компьютере возможен интерактивный (без задержек) просмотр этих данных.

Разработан прототип программной системы, использующей спецификации синтаксиса императивных языков программирования для автоматизации анализа исходных текстов программ, были подготовлены спецификации синтаксиса для ряда языков программирования, в частности, был полностью документирован синтаксис языка FlexT, ранее разработанного в ИДСТУ СО РАН для описания бинарных форматов данных. С использованием описаний система контролирует синтаксическую корректность исходных текстов, строит дерево разбора текста программы и выполняет подсветку синтаксиса.

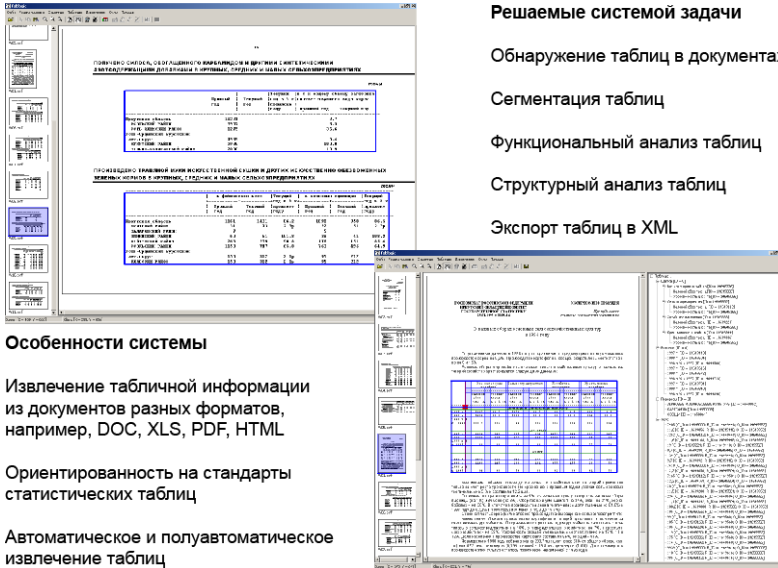
Для создания первой очереди хранилища данных институтов ИНЦ СО РАН подготовлен проект хранилища данных (ХД), устанавливается система хранения данных SAN с характеристиками: пиковая производительность ввода/вывода из кэш-памяти – 120000 IOPS; количество поддерживаемых дисков FC или SATA – 112; объем кэш памяти – 4 GB; порты для внешнего подключения – 8 портов FC 4 Gbps; порты для подключения дисковых модулей расширения – 2 порта FC 4 Gbps; дисковый объем - 2.4 TB на дисках FC, 24 TB на дисках SATA.

Разработаны средства импорта информации из таблиц, содержащихся в произвольных документах, посредством анализа файлов печати. Методы ориентированы на особенности статистических таблиц, которые используются в государственных статистических отчетах различных стран (Россия, США, страны Евросою-



за, Китай, Япония), а также в финансовых отчетах различных компаний. По сравнению с существующими методами такая специализация позволила разработать более эффективные методы извлечения табличной информации для обработки документов со статистическими таблицами.

Система извлечения табличной информации из документов разных форматов



Решаемые системой задачи

- Обнаружение таблиц в документах
- Сегментация таблиц
- Функциональный анализ таблиц
- Структурный анализ таблиц
- Экспорт таблиц в XML

Особенности системы

- Извлечение табличной информации из документов разных форматов, например, DOC, XLS, PDF, HTML
- Ориентированность на стандарты статистических таблиц
- Автоматическое и полуавтоматическое извлечение таблиц

Рис. 13. Система извлечения табличной информации из документов различных форматов

Разработанными методами и системами решаются следующие задачи:

- обнаружение таблиц в документах – поиск на страницах документов областей, являющихся изображениями таблиц;
- сегментация таблиц – выделение отдельных столбцов, строк и ячеек таблицы;
- функциональный анализ таблиц – определение ролей ячеек в таблице (являются ли они заголовками, подзаголовками, или значениями);
- структурный анализ таблиц – определение зависимостей между заголовками, подзаголовками и значениями;
- интерпретация таблиц – преобразование полученного на предыдущих этапах описания таблиц к целевому представлению, например, преобразование такого описания таблицы к отношению в терминах реляционной модели.



Разработаны процедуры идентификации двух математических моделей лесных ресурсов промышленного региона, основанные на формализованных знаниях и исходных данных распределения площадей лесов по породам и классам возраста. Разработаны инструментальные средства для конструирования интеллектуальных информационных систем поддержки принятия решения по рациональному использованию лесных ресурсов на основе прогнозирования и анализа динамики лесных ресурсов. Проведено прогнозирование состояния лесных ресурсов Иркутской области и Усть-Илимского района, для которых были определены объемы рубок, позволяющие вести неистощительное использование лесных ресурсов.

Разработана технология интеграции информационно-аналитических ресурсов в сфере градостроительства. Создана модель и технология обработки пространственно-распределенных данных и интеграции информационных ресурсов в области градостроительной деятельности, разработан единый методологический подход к проектированию градостроительных информационных ресурсов. Впервые предложена комплексная информационная модель, позволяющая проектировать информационные системы органов местного самоуправления в области градостроительства. Разработана и реализована новая технология регламентированной передачи пространственной информации между локально-вычислительными сетями.

Развиты методы распознавания картографических объектов на основе применения специальной двухуровневой модели: на первом уровне производится обработка растрового и векторного изображения, на втором – применяется специфичная для выделяемых объектов дополнительная логическая информация для их распознавания. Разработаны алгоритмы сегментации растровых изображений, содержащих шум и размытия. Алгоритмы базируются на блочном анализе изображения и поиске границ сегментов в виде локальной оптимизации некоторой функции оценки. Проведена тестовая апробация алгоритмов, показавшая надежность работы на разнообразных изображениях.



Проведены исследования в области автоматизации документооборота. Документ рассматривается как структурированная совокупность данных. Предложена иерархическая модель документа, где документ представляется в виде иерархического графа, узлами графа являются линейные наборы атрибутов (объекты), дугами графа – ассоциативные отношения между объектами. Разработан модуль ввода и редактирования документов, проведена апробация, показавшая, что разработка пользовательского интерфейса для определенного класса документов, представленного при помощи предложенной модели, занимает меньше времени по сравнению с традиционными подходами.

Проведена апробация применения интеллектуального подхода для проектирования каркаса информационных систем (ИС), базирующегося на MDA-подходе. Синтез каркаса ИС основывается на анализе платформонезависимой модели (PIM) при помощи логических правил, соответствующих модели программно-аппаратной платформы вычислительной системы и требованиям к ИС. В результате анализа синтезируется каркас ИС – платформозависимая модель (PSM), которая является описанием ИС на более абстрактном уровне, чем непосредственно программный код ее компонент. Система анализа PIM и синтеза PSM основывается на иерархии связанных модулей анализа и генерирования программного кода. Программный код синтезируется из PSM на основе шаблонов, содержащихся в базе шаблонов.

Синтезируемый каркас ИС состоит из хранилища информации (база данных), уровня приложения и шаблона Интерфейса пользователя. Для апробации подхода был автоматически сформирован каркас для ИС “Популяционный раковый регистр”. Модель, представленная более 100 классами, реализована как набор шаблонов модулей подсистемы приложения (более 8000 строк программного кода на языке Python), SQL-скрипты базы данных (порядка 90 таблиц, MySQL), элементы шаблона пользовательского интерфейса (HTML- и AJAX- компоненты).

В задаче автоматизации построения пользовательского интерфейса (ПИ) проведены дальнейшие исследования в области семантического описания пред-



ставленного в ПИ набора функций. Проведено совершенствование формализованного описания пиктограмм, что позволяет перевести эти компьютерные изображения в ПИ в один из инструментов моделирования программного обеспечения. Проведено теоретическое исследование процесса проектирования пиктограмм как элемента человеко-машинных интерфейсов и программных средств визуализации. Создана новая технология конструирования пиктограмм, стандартизован формат семантического описания пиктограмм в веб-документах. Предложены онтология, на основе которой осуществляется систематизация наборов компьютерных пиктограмм через описание содержания пиктограмм, и новый XML-язык семантического описания компьютерных пиктограмм IsoML, который позволяет автоматизированно создавать и обрабатывать пиктограммы. Разработан микроформат hIcon, реализующий оригинальные механизмы разметки семантики пиктограмм в HTML, что позволяет идентифицировать пиктограммы среди других изображений в веб-документе и определять их значение в интерфейсе. На базе разработанных средств семантического описания пиктограмм создан программный комплекс IconExpert для конструирования, синтеза, описания и подбора согласованных наборов пиктограмм. Возможности синтеза, описания и подбора пиктограмм с использованием предложенной технологии показаны на примере создания языка пиктограмм для проекта Tango Open Desktop, показано, что ее использование позволяет сократить временные затраты на 60% по сравнению с традиционным подходом. Создана формализовано описанная библиотека пиктограмм. Предложенная технология повышает эффективность разработки ПИ, в частности, сокращает затраты на дизайн пиктограмм за счет повторного использования элементов ранее созданных пиктограмм и автоматической генерации пиктограмм из составляющих элементов, а также позволяет улучшить эргономичность интерфейса.

Разработана новая реализация системы автоматического доказательства теорем КВАНТ/3, основанная на языке OCaML, что позволяет впервые использовать традиционные подходы, базирующиеся на функциональных языках класса ML, к построению систем автоматического доказательства теорем для метода позитивно-



образованных формул (ПО-формул), а также использовать существующие программные библиотеки распараллеливания вычислительных процедур на MPI- и OpenMP-кластерах.

Предложен новый подход к построению параллельных крупноблочных планов требуемой длины для решения вычислительных задач в распределенной вычислительной системе, в котором:

- модель предметной области представлена в виде системы булевых уравнений (ограничений), решения системы определяют возможные планы активизации программных модулей при решении непроцедурных постановок задач;
- обеспечена возможность построения как синхронных, так и асинхронных параллельных планов;
- сформулированы и учитываются ограничения на число используемых узлов распределенной вычислительной среды, временные задержки, возникающие при исполнении программных модулей, а также множественность установки модулей в узлах.

В булевых моделях реализованы три практически важных варианта распределения модулей по узлам:

- количество узлов не ограничено в том смысле, что каждый модуль установлен в одном и только в одном узле (такая ситуация возникает, например, при решении ресурсоемкой задачи в распределенной вычислительной среде в условиях неотчуждаемости программного модуля от владельца узла);
- количество узлов является ограниченной величиной, в каждом узле установлен одинаковый набор модулей;
- общий случай множественной установки программных модулей, когда любой модуль может быть установлен сразу в нескольких узлах и в любом узле может быть доступно несколько функционально различных модулей (в первую очередь здесь идет речь о повышении отказоустойчивости решения ресурсоемкой задачи в распределенной вычислительной среде при выходе из строя одного или нескольких узлов).



Для грид-системы ИДСТУ СО РАН, организованной на базе вычислительных кластеров с различными операционными системами и системами управления заданиями (СУПЗ), разработаны и реализованы методы и средства децентрализованного управления потоками заданий.

Создан специализированный программный комплекс Web-Interface Manager (WIM), предназначенный для организации пользовательского веб-интерфейса к грид-системе. Комплекс дополняет базовое промежуточное программное обеспечение грид-системы (пакет Globus Toolkit), обеспечивает децентрализацию потока заданий и значительно расширяет функциональные возможности грид-системы с точки зрения выполнения различного рода программных приложений.

Предложена новая схема децентрализованного управления потоками заданий в грид-системе. Задания, поступающие в грид-систему, разделяются на два потока (рис. 14). Первый поток формируется из стандартных (допускаемых пакетом Globus Toolkit) заданий, поступивших из других грид. Второй поток (на веб-сервер грид-системы) образует задания, отправленные через веб-интерфейс.

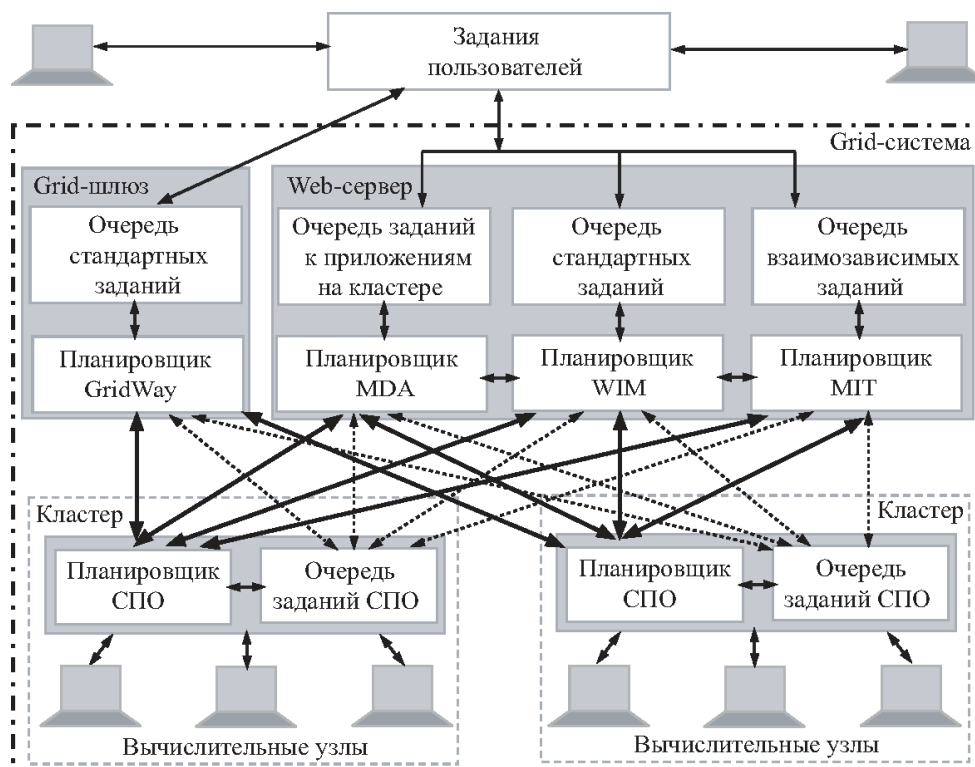


Рис.14. Управление потоками заданий



Распределение заданий из первого потока. Поступившее на грид-шлюз стандартное задание ставится в очередь и ждет назначения на один из свободных вычислительных ресурсов службами пакетов Globus Toolkit и GridWay. При наличии свободных ресурсов пакет GridWay направляет задание, находящееся в голове очереди, в СУПЗ освободившегося кластера на исполнение. СУПЗ формирует локальную очередь заданий на кластере.

Распределение заданий из второго потока. Кроме стандартных заданий с помощью комплекса WIM распределяются следующие виды заданий:

- использующие прикладное программное обеспечение, размещенное в узлах грид-системы;
- взаимосвязанные задания, требующие частично упорядоченного выполнения входящих в них подзадач.

Разработан менеджер распределенных приложений – MDA (Manager of Distributed Applications), предназначенный для отправки заданий на вычислительные узлы кластеров, на которых установлены приложения, требуемые для выполнения этих заданий. Планировщик MDA взаимодействует с планировщиком WIM с целью закрепления за заданием выбранных ресурсов перед передачей этого задания СУПЗ кластера.

Разработан менеджер взаимосвязанных заданий MIT (Manager of Interrelated Tasks), ориентированный на распределение такого рода заданий по кластерам и контроль процесса их выполнения. Подход к планированию работ MIT основан на двух важных решениях. Во-первых, для грид-системы построена модель, включающая спецификации аппаратных компонентов (компьютеров и коммуникационных интерфейсов), спецификации системного и прикладного программного обеспечения, а так же множество зависимостей между программно-аппаратными ресурсами этой системы. Во-вторых, для управления кластерами использованы СУПЗ, совместимые с инструментарием пакета Globus Toolkit.



В ходе исследования структурной сложности проблем обращения дискретных перестановок получен результат о расположении языка одновыполнимых КНФ в полиномиальной иерархии Стокмейера. На основании техники, развитой при получении данного результата, предложен новый подход к характеристике сложности задач обращения некоторых дискретных функций. Для широкого класса дискретных функций (в том числе и для функций, используемых в несимметричной криптографии) показано, что задачи их обращения не могут быть NP-трудными в предположении, что полиномиальная иерархия не стабилизируется на первом уровне.

Разработан и построен решатель логических уравнений, использующий в своей основе двоичные диаграммы решений (BDD). Предложены новые алгоритмы решения задач обращения дискретных функций, использующие комбинированный подход (SAT+BDD). Алгоритмы содержат решение проблемы неполноты логического вывода, возникающей при программировании в булевых ограничениях. В предлагаемом подходе база ограничений в DPLL-выводе модифицируется при помощи BDD, что для задач обращения дискретных функций позволяет существенно (на некоторых тестах в тысячи раз) уменьшить объем базы ограничений с сохранением всей информации о предыстории поиска.

Разработана технология крупноблочного распараллеливания SAT-задач, кодирующих проблемы обращения дискретных функций из одного класса. Данная технология успешно применена в криптоанализе некоторых генераторов поточно-го шифрования (пороговый, суммирующий, генератор Гиффорда). Особенностью технологии является прогнозирование параметров оптимальной (в смысле вычислительных затрат) декомпозиции исходной SAT-задачи через задачу оптимизации определяемой специальным образом прогнозной функции. Технология крупноблочного распараллеливания SAT-задач доведена до программной реализации в форме пакета прикладных программ D-SAT.

Разработаны базовые модули программного комплекса "Transalg", являющегося усовершенствованием имеющегося LC-комплекса. Основная функция ком-



плекса “Transalg” состоит в трансляции алгоритмов вычисления дискретных функций в логические выражения, двоичные диаграммы решений, а также в полиномиальные уравнения над полем $GF(2)$. В отличие от имеющегося LC-комплекса, Transalg позволяет транслировать алгоритмы, содержащие операторы условного перехода, что делает его перспективным инструментом в исследовании стойкости имеющихся и разработке новых криптографических примитивов.