

На правах рукописи

УДК 004.048/.421/.89;
330.322; 51-77

ЧИРКУНОВ
Кирилл Сергеевич

**МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ ПОДХОД И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ
ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ**

Специальность 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Новосибирск – 2012

Работа выполнена в Институте систем информатики им. А.П. Ершова
Сибирского отделения РАН

Научные руководители:

Мурзин Федор Александрович,
кандидат физико-математических наук,
зам. директора ИСИ СО РАН.

Есикова Татьяна Николаевна,
кандидат экономических наук,
ведущий научный сотрудник ИЭОПП СО
РАН.

Официальные оппоненты:

Витяев Евгений Евгеньевич,
доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник ИМ СО
РАН.

Шилов Николай Вячеславович,
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник ИСИ СО
РАН.

Ведущая организация:

Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики
(СибГУТИ).

Защита состоится 14 мая 2012 г. в 15 ч 00 мин на заседании
диссертационного совета ДМ 003.032.01 в Институте систем информатики
им. А.П. Ершова Сибирского отделения РАН по адресу:

630090, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 6.

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале ИСИ СО РАН
(г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 6).

Автореферат разослан 12 апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

к.ф. – м.н.



Мурзин Ф.А.

Общая характеристика работы

Актуальность работы

Развитие новых парадигм программирования зачастую происходит как следствие решения практических задач, которые стоят перед программистами. Парадигма структурного программирования начала развиваться в связи с решением научных задач, которые допускали мышление в рамках функций, инструкций и операторов. Поэтому, как правило, любая программа могла быть представлена в виде трех блоков: «Что дано» (вводные переменные и их значения), «Решение» (последовательность выполняемых действий, логический вывод) и «Ответ» (выходные переменные с заданными значениями). Однако сближение программирования и бизнеса привело к широкому распространению парадигмы объектно-ориентированной парадигмы. Оказалось, что объектами оперировать гораздо проще и понятнее, чем функциями и процедурами. И объектно-ориентированный язык зачастую понятнее для заказчика, и составлять спецификацию для программиста по требованиям заказчика проще. Да и традиционная человеческая ментальность ближе к объектной структуре, чем к процедурной. Все это обеспечило успех объектно-ориентированного подхода.

Дальнейший рост сложности компьютерных систем, появление распределенных программно-аппаратных решений показал все недостатки централизованной модели вычислений – изобилие узких мест, необходимость обеспечивать учет сотен и тысяч переменных при управлении, невысокая скорость отклика и др. На смену ей пришла другая модель с несколькими центрами обработки, которая принесла информатикам новые проблемы, связанные с синхронизацией передачи данных, организацией распределенных вычислений и разработкой новых протоколов обмена данными. Однако эти проблемы были решены.

Стали развиваться идеи многоагентных (или, что то же самое, мультиагентных) систем, в которых предполагается, что отдельный агент может иметь лишь частичное представление об общей задаче и способен решить лишь некоторую ее подзадачу. Поэтому для решения сколько-нибудь сложной проблемы, как правило, требуется взаимодействие агентов, которое неотделимо от организации многоагентной системы.

Элемент системы – агент – может пониматься как метаобъект, наделенный некоторой долей субъектности, т.е. способный манипулировать другими объектами, создавать и уничтожать их, а также имеющий развитые средства взаимодействия со средой и себе подобными. Иными словами, это «активный объект» или «искусственный деятель», находящийся на заметно более высоком уровне сложности по отношению к традиционным объектам в объектно-ориентированном подходе и использующий их для достижения своих целей путем управления, изменяющего их состояния.

Идея многоагентности предполагает кооперацию агентов при коллективном решении задач. В многоагентной системе агент, который не способен решить некоторую задачу самостоятельно, может обратиться к другим агентам. Другой вариант, когда необходима кооперация – это использование коллектива агентов для решения одной общей трудной задачи. При этом агенты могут строить планы действий, основываясь уже не только на своих возможностях, но и “думать” о планах и намерениях других агентов.

Однако использование идеи коллективного поведения приводит к массе проблем. Среди них следует выделить такие проблемы, как: формирование совместных планов действий, возможность учета интересов компаньонов агента, синхронизация совместных действий, наличие конфликтующих целей, наличие конкуренции за совместные ресурсы, организация переговоров о совместных действиях, распознавание необходимости кооперации, выбор подходящего партнера, обучение поведению в коллективе, декомпозиция задач и разделение обязанностей,

правила поведения в коллективе, совместные обязательства и т. д. Этот список можно было бы продолжить.

С некоторой долей условности исследования в области многоагентных систем можно разделить на такие основные направления:

-теория агентов, в которой рассматриваются формализмы и математические методы для описания рассуждений об агентах и для выражения желаемых свойств агентов;

-методы кооперации агентов (организации кооперативного поведения) в процессе совместного решения задач или при каких-либо других вариантах взаимодействия;

-архитектура агентов и многоагентных систем – это область исследований, изучающая, построение компьютерных систем, которые удовлетворяют тем или иным свойствам, выраженным средствами теории агентов;

-языки программирования агентов - стоит заметить, что в настоящее время не существует языка программирования, который в полной мере отвечал бы потребностям технологии многоагентных систем. Хотя и существуют попытки по созданию такого языка. Список основных языков, применяющихся для создания многоагентных систем, приведен ниже:

- универсальные языки программирования (Java, C++, C# и др.);
- языки, "ориентированные на знания":
 - языки представления знаний (KIF);
 - языки переговоров и обмена знаниями (KQML, AgentSpeak, April);
 - языки спецификаций агентов;
- Специализированные языки программирования агентов (TeleScript);
- Языки сценариев и scripting languages (Tcl/Tk);
- Символьные языки и языки логического программирования (Oz);

-методы, языки и средства коммуникации агентов;

-методы и программные средства поддержки мобильности агентов (миграции агентов по сети);

-приложения многоагентных систем и инструментальных средств поддержки технологии их разработки.

Сегодня агентно-ориентированный подход находит широкое применение в таких областях, как распределенное решение сложных задач (и эффективное решение распределенных задач), совмещенное проектирование изделий, реинжиниринг бизнеса и построение виртуальных предприятий, имитационное моделирование интегрированных производственных систем и электронная торговля, организация работы коллективов роботов, распределенная (совмещенная) разработка компьютерных программ и др. Если касаться теории вычислений, то и здесь новый подход находит применение, ведь он позволяет пересмотреть и критически проанализировать некоторые устоявшиеся модели, в том числе в области территориального планирования и управления народным хозяйством.

Распад СССР поставил перед экономистами бывшей советской школы ряд совершенно новых задач. Раньше в Центральном экономико-математическом институте (ЦЭМИ) и в Госплане успешно применялись методики расчета плана развития народного хозяйства «сверху-вниз». Однако когда значительная часть государственного имущества перешла в частные руки, такая методика перестала быть эффективной. Потребовалась разработка совершенно нового класса моделей, которые бы отражали рыночный характер экономики, ее децентрализованность. Все чаще стало упоминаться экономико-математическое моделирование в терминах «экономических агентов», т.е. самозаинтересованных активных участников экономических отношений. Экономическими агентами могут выступать перевозчики, предприятия, компании, крупные корпорации, холдинги и т.д. В это же время в мире активно развивалась парадигма агентного моделирования, которая наделяет объекты такими чертами, как «активность», «целеустремленность», «коммуникативные навыки».

На сегодняшний день многоагентное моделирование кажется уже достаточно изученной дисциплиной. Тем не менее в ней существуют «белые пятна», которые заполняются по мере решения практических задач.

Совершенствуются алгоритмы переговоров между агентами, усложняются алгоритмы планирования последовательности действий для достижения целей, вводятся новые типы агентов.

В работе мультиагентный подход развивается для моделирования функционирования и прогнозирования поведения сложных распределенных иерархических систем в случае отсутствия точных формализованных постановок задачи.

Актуальность использования и развития этого инструментария для исследования и прогнозирования иерархических систем обуславливается следующим

- жизнеспособность и эффективность этих систем зависит от корректности принимаемых решений отдельных агентов (экономических, социальных и др.) в постоянно изменяющейся внешней среде;
- *возможность и достоверность прогнозирования* ситуаций развития предопределяется внешними и внутренними управляющими воздействиями, осуществляемых различными агентами на различных уровнях иерархии;
- *адаптации системы к изменению поведения* отдельных агентов зависит от своевременно прогнозирования последствий от всего многообразия принимаемых в ней решений;
- неординарные управленческие решения и стратегии, проводимые активными игроками (независимыми государствами, глобальными игроками – ТНК (транснациональными компаниями) оказывают решающее влияние на поведение системы в целом.

Цель работы

- Проведение исследований, связанных с применимостью многоагентного подхода к моделированию сложных иерархических систем экономической природы;
- создание и апробирование методик многоагентного подхода, основанных на

проектной деятельности, с целью развития аппарата моделирования применительно к областям, для которых характерно: разноплановый состав самоинтересованных участников деятельности, наличие ограниченного количества ресурсов, временный характер взаимодействий, конфликтность достижения целей при вынужденном сотрудничестве, возможный синергетический эффект;

- разработка новых моделей и алгоритмов агентных взаимодействий, учитывающих специфику предметной экономической области и обладающих свойством распределенности;

- разработка способов оценки будущего состояния многоагентной среды, являющегося отражением состояния сложной иерархической системы экономической природы;

- создание программных комплексов (на базе разработанных моделей и алгоритмов), ориентированных на работников НИИ, занимающихся макроэкономическими исследованиями, в том числе деятельности транснациональных компаний, проблем масштабного государственно-частного партнерства.

Методы исследования

- Методы агентного моделирования, позволяющие формально описывать и программно имитировать поведение сообществ интеллектуальных агентов.
- Методы теории игр (принцип минимакса, игры с ненулевой суммой, принцип Парето).
- Формальные методы доказательства корректности (тотальной корректности, соответствия спецификации).
- При разработке схем переговоров совместного выбора концессионных транспортных проектов применялась методика экспертных оценок на основе взвешенных коэффициентов.
- В работе использовались также: нейронные сети, обучающиеся с учителем (алгоритм обратного распространения ошибки), Марковские цепи и корреляционный анализ.

Научная новизна

В настоящее время с помощью мультиагентного подхода достаточно хорошо изучены вопросы, связанные с деятельностью в доменах,

ориентированных на стоимость и на задачи. Однако крайне скудно рассмотрены аспекты работы в смешанных доменах. Автор в работе развил концепции доменов переговоров, ориентированных на проекты.

Введенные концепции позволяют:

- моделировать взаимодействие агентов экономической природы, относящихся к разным уровням сложных иерархических систем;
- производить согласованный выбор проектов, с учетом интересов агентов-участников;
- оценивать синергетический эффект, возникающий при их взаимодействии;
- предсказывать изменения агентной среды.

Также автором были разработан специальный формат хранения состояния сложных агентов; предложены классы, структуры и функции, адекватно отражающие предметную область (программная архитектура); созданы и апробированы специальные редакторы, ориентированные на описание сложных иерархических систем экономической природы; адаптирована база знаний JBoss Rules для решения поставленных задач.

Был сделан вклад в развитие математического аппарата, связанного с агентным моделированием и проектным подходом. Ниже представлен список математических моделей и алгоритмов.

1. Разработан алгоритм совместного выбора производственных специализаций иерархической многоагентной территориальной системы (в рамках многоагентной модели территориальной системы);
2. Разработан алгоритм создания и размещения агента «ТПК» (в рамках многоагентной модели территориальной системы) с учетом таких ограничений по локациям, как набор требуемых трудовых, природных ресурсов, готовых производств, соседние агенты «ТПК» со специализациями и межрайонные связи агента-родителя «Экономический район»;
3. Разработана процедура выбора функции развития агента «Экономический район» (в рамках многоагентной модели

- территориальной системы) как комбинации сочетаний базовых функций развития (назначения производственной специализации);
4. Алгоритм оценки допустимых рисков комплекса проектов (на базе восходящего градиента) при последовательной реализации проектов и заданной вероятности успешного исхода проекта в зависимости от средств, выделенных на управление рисками;
 5. Протокол поэтапного компромисса, позволяющий выбрать один проект из заранее заданного множества проектов с учетом интересов агентов-участников переговоров (в рамках агентной модели государственно-частного партнерства).

Практическая значимость

Идеи проектного подхода при организации совместной работы агентов, развитые в диссертационной работе, оказались наиболее востребованными специалистами из Института Экономики и Организации Промышленного производства СО РАН, которые занимаются имитационным моделированием решения макроэкономических задач.

Результаты, полученные при моделировании хода выполнения проекта «БЭМО» (Богучанское энерго-металлургическое объединение) вызвали также определенный интерес в компании «РУСАЛ».

Гибридная схема прогнозирования привлекла внимание работников Банка Казани, так как она позволяет доработать существующие модули прогнозирования на нейронных сетях без кардинальных изменений.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались автором на ряде конференций: Международная научная конференция «Управление развитием крупномасштабных систем» (г. Москва, 2009 г., 2010 г., 2011 г.); Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию «ИММОД» (г. Санкт-Петербург, 2011 г.); Международная

научная студенческая конференция «Студент и научно-технический прогресс» (г. Новосибирск, 2006 г., 2007 г.);

Публикации

По теме диссертации автором опубликовано 14 работ, из них 4 статьи опубликованы в журналах из списка ВАК, 8 работ – в трудах и материалах международных конференций, 2 работы – в иных изданиях.

Личный вклад автора

Все основные результаты диссертации получены автором лично. В совместных публикациях автор отвечал за математическую постановку задач, разработку алгоритмов их решения, а также за программную реализацию.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из оглавления, введения, заключения и 6 глав. Объем – 159 страниц. Работа содержит 25 рисунков, 22 таблицы, 5 листингов программ. Общее число использованных источников: 75.

Содержание работы

Во **введении** обосновывается актуальность темы исследований и приводится краткое содержание работы.

В **первой главе** рассматриваются основные принципы агентного подхода, определяются понятия «агент» и «среда», их типы и разновидности. Приводится пример удачной формализации многоагентной системы, предложенной Майклом Вулдриджем в книге «Introduction to MultiAgent approach».

В настоящее время было сделано очень много попыток дать определение понятию «агент». Однако споры о том, что же все-таки считать агентом, не утихают до сих пор. Мы встречали, по меньшей мере, шесть различных определений этого понятия в работах, посвященных агентному моделированию, из которых ни одно нельзя было назвать наиболее общим, полным и ясным. Наиболее важным свойством агента можно назвать автономность, иногда также отмечают обучаемость (способность к адаптации) – но зачастую это свойство опускается. Агент действует в

некоторой среде и обладает способностью получать информацию об объектах, которые в ней находятся.

Существует большое множество возможных вариантов среды, с которыми можно столкнуться на практике. Однако, как указывают С. Рассел и П. Норвиг, представляется осуществимой задача выделения небольшого количества измерений, по которым могут быть классифицированы варианты проблемной среды.

Отдельно выделяют характеристики интеллектуальных агентов (в некоторых работах – интеллектуальных в слабом смысле):

- 1) *реактивность* (способность своевременно реагировать на воспринятые изменения среды);
- 2) *проактивность* (проявление инициативы для достижения своих целей);
- 3) *социальные навыки* (способность к взаимодействию с другими агентами «ради дела»).

Каждый агент имеет функцию пользы, которая возвращает численное значение, показывающее, насколько хорошо «живется» агенту в системе. Агент прилагает все усилия, чтобы повысить ее значение, но при этом старается повысить и пользу общественную, которая задается как сумма значений функции пользы всех агентов. Роль значения функции пользы будет играть доход, получаемый агентом в системе.

Популяция взаимодействующих агентов совместно со средой образует *многоагентную систему* (МАС).

Определенные типы агентов решают, что делать, не учитывая историю взаимодействий. Они базируются на текущем состоянии, без оглядки на прошлое. Таких агентов называют *чисто реактивными*, так как они только просто реагируют на отклики из среды. Как правило, же, полноценный агент принимает решения о дальнейших действиях учитывая полную историю взаимодействий со средой.

Задачи, с которыми имеет дело агент, условно можно разделить на два класса:

- 1) задачи достижения состояния;
- 2) задачи поддержания состояния.

Более сложные задачи могут задаваться как комбинации задач достижения и поддержания. В самом простом виде вариант может формулироваться как: «достичь любого из состояний G , избегая любого из состояний B », однако есть и более сложные постановки.

Джеффри Розеншейн и Гилад Злоткин сделали важный вклад в разработку теоретических основ переговоров между агентами. Они разделили все множество переговоров на два типа: переговоры, ориентированные на выполнение задач; и переговоры, связанные с распределением материальных благ.

В работе выделяется еще один тип переговоров – переговоры, ориентированные на совместную реализацию (выбор) проекта или группы проектов.

Накопленный опыт использования готовых схем переговоров позволил построить протокол переговоров в области государственно-частного партнерства при реализации крупных производственно-транспортных проектов.

Такая область характеризуется следующим:

- конфликтность достижения целей при вынужденном сотрудничестве;
- различная оценка привлекательности проекта с точки зрения каждого из участников;
- синергетический эффект от реализации сразу нескольких проектов (при условии их зависимости друг от друга).

Одна из наиболее известных и комплексных работ, посвященных описанию когнитивной деятельности агента в терминах логики, была написана П.Р. Коэном и Г.Дж. Левескью в 1990 г.

Формально логика рациональных агентов является мультимодальной логикой первого порядка с несколькими типами переменных и эквивалентностью, содержащая четыре типа модальности.

Таблица 1. Типы модальности

Оператор	Описание
(Bel $i \phi$)	Агент i считает факт ϕ истинным
(Goal $i \phi$)	Агент i имеет цель ϕ
(Happens α)	Действие α случится в следующий момент времени
(Done α)	Действие α только что произошло

Используя интенциональную логику, П.Р.Козн и Г.Дж.Левескью развили теорию, которая на сегодняшний день является стандартом де-факто в логическом анализе речевых актов. Их работа проистекала из двух базовых допущений:

- (1) Распознавание побудительной силы высказывания является необязательным.
- (2) Побудительные речевые акты являются комплексными типами событий и не являются примитивными.

Вторая глава посвящена построению новой децентрализованной и многоагентной модели согласованного развития экономических районов.

Схематично модель можно описать следующим образом. Агенты, представляющие экономические районы (агенты ЭР), потребляют ресурсы, которые предоставляет им внешняя среда (т.е. территориальная система поглощает импортную продукцию), и, в свою очередь, генерируют товарную массу для внешней среды (т.е. система экспортирует на внешние рынки произведенную на своей территории продукцию). Также агенты-районы могут «договариваться» друг с другом и устанавливать товарно-

материальные связи. В рамках связи один агент предоставляет продукцию другому агенту.

Агенты экономических районов совместно формируют набор производственных специализаций территориальной системы.

Каждый экономический район может иметь несколько возможных наборов собственных специализаций:

$$\left\{ \begin{array}{l} \{ f_{1,1}, \dots, f_{1,n_{j_1}} \}, \\ \{ f_{2,1}, \dots, f_{2,n_{j_2}} \}, \\ \dots, \\ \{ f_{m,1}, \dots, f_{m,n_{j_m}} \}, \\ \{ \} \end{array} \right\}, \quad (1)$$

где $f_{m,n_{j_m}}$ – производственная специализация с индексом j_m для набора с номером m .

Тогда все множество сделок Λ описывается декартовым произведением множеств возможных наборов собственных специализаций экономических районов $er \in ER_0$:

$$\Lambda = \left\{ \begin{array}{l} \{ f_{1,1}^1, \dots, f_{1,n_{j_{1,1}}}^1 \} \\ \{ f_{2,1}^1, \dots, f_{2,n_{j_{2,1}}}^1 \} \\ \dots \\ \{ f_{m_1,1}^1, \dots, f_{m_1,n_{j_{1,m_1}}}^1 \} \end{array} \right\} \times \dots \times \left\{ \begin{array}{l} \{ f_{1,1}^{|ER|}, \dots, f_{1,n_{j_{1,1}}}^{|ER|} \} \\ \{ f_{2,1}^{|ER|}, \dots, f_{2,n_{j_{2,1}}}^{|ER|} \} \\ \dots \\ \{ f_{m_{|ER|},1}^{|ER|}, \dots, f_{m_{|ER|},n_{j_{|ER|,m_{|ER|}}}^{|ER|} \} \end{array} \right\}. \quad (2)$$

В данной работе мы исходим из предположения, что один экономический район производит товаров в рамках своей специализации вполне достаточно, чтобы полностью покрыть потребность в них на внешнем рынке, и также считаем, что число возможных специализаций для района и размеры предлагаемого набора специализаций невелики: 3 и 2 соответственно. Также мы учитываем то, что состав специализаций района может иметь переменную длину от 0 до 2 (т.е. множество предложений

может содержать пустое множество). Однако полное число возможных специализаций для территориальной системы может быть и больше.

Алгоритм выбора специализаций территориальной системы содержит набор инструкций о том, как агенты экономических районов могут найти специализацию, обеспечивающую максимальный доход территориальной системы.

Алгоритм выбора программы развития района с помощью функций специального вида позволяет определить программу развития района, при которой экономический район получит наибольшее значение дохода.

Алгоритм отыскания необходимых ресурсов для развития экономического района позволяет упорядочить процесс формирования товарно-материальных связей на межрайонном и внешнем уровне.

Алгоритм открытия новой производственной специализации экономического района на внутрирайонном уровне описывает последовательность действий, которые надо выполнить, чтобы разместить территориальный комплекс на территории района с учетом имеющейся инфраструктуры и ресурсов территории.

Определение. *Территориально-производственный комплекс (ТПК)* – совокупность расположенных рядом друг с другом взаимосвязанных производств (Колосовский Н.Н.).

Благодаря применению методов распределенного искусственного интеллекта модель приобрела такие качества, как гибкость, способность приспосабливаться к заданной среде (которая описывается в терминах внешних ресурсов, рынков и товарно-материальных связей), устойчивость к изменению числа активных элементов и локальность производимых вычислений.

В **третьей главе** развиваются идеи проектного подхода и исследуются вопросы, связанные с комплексной оценкой ряда проектов.

Будем говорить, что проекты имеют следующие типы:

- Независимые. Т.е. имеющие свои ресурсы. Например: обособленное финансирование, административный и исполнительский персонал, а также априори учитывающие текущую ситуацию без дополнительных условий. Совместная реализация таких проектов может протекать как одновременно, так и последовательно.
- Взаимоисключающие. Такие проекты в силу ресурсных, финансовых или иных ограничений блокируют выполнение альтернативных проектов, либо требуют модификацию исходных посылок и изменение содержания таких проектов.
- Зависимые. Исходные посылки содержат дополнительные условия, требующие реализации других проектов. Например, уже построенную транспортную магистраль (для строительства логистического центра), разработанное месторождение (для создания горно-перерабатывающего комбината) и пр.

Независимые проекты, имеющие ресурсы, которые могут быть преобразованы в разделяемые, могут быть представлены как зависимые. Интересно, что при этом, как правило, достигается эффект снижения издержек (например, по объему занимаемой памяти) при совместной реализации проектов, за счет общих элементов.

Зависимые проекты страдают тем, что не могут быть включены в какую-либо программу, если в нее не включены те проекты, от которых они зависят. Для этого была предусмотрена процедура преобразования зависимого типа в независимый, которая, однако, влечет увеличение стоимости реализации проекта (вплоть до его убыточности).

Взаимозависимые проекты могут быть преобразованы как в единый независимый проект, либо в проекты, одни из которых зависят от других. Оправданность того или иного преобразования зависит от целей формирования программы и от масштабности и управляемости объединенного проекта – иногда, ради простоты, лучше разделить его на несколько проектов поменьше.

Введем понятие вероятности того, что «проект не закончится крахом», и обозначим ее как некоторую монотонную неубывающую функцию, зависящую от проектных затрат. Тогда для готового последовательного плана реализации проектов можно составить оптимальное расписание «рисковых» выплат на базе метода восходящего градиента.

В **четвертой главе** автор строит экономико-математическую модель концессионных отношений, на базе которых в данной работе строится партнерство государства и частного сектора.

Концессия – система отношений между государством (концедентом), с одной стороны, и с другой стороны – юридическим или физическим лицом (концессионером), возникающая в результате предоставления концедентом концессионеру прав по владению, пользованию, а при определенных условиях и распоряжению государственной собственностью по договору, за плату и на возвратной основе, а также прав на осуществление видов государственной деятельности.

Математическая модель и программное обеспечение (в рамках выбранной модели) на основе концессий, позволяющее частному инвестору рассмотреть различные инвестиционные государственные предложения, являются актуальными. Данные предложения могут создаваться как на федеральном, так и на региональном уровне, в пределах различных интегрированных производственно-транспортных зон.

Были формально описаны различные типы концессий (традиционные, «теневые», build-operate-transfer, build-own-operate-transfer, с разными схемами концессионных выплат).

Крупные производственно-транспортные проекты также были представлены в строгом математическом виде. Приведен расчет затрат по каждому предприятию (создаваемому в составе проекта), расчет валовой выручки, прибыли, отчислений в виде налогов и сборов и требуемых инвестиций. Доходы и расходы федеральной и региональной власти зависят

от конфигурации используемых налоговых и концессионных схем. Есть индикатор экономической сбалансированности интересов участников проекта в рамках модели.

На базе разработанной математической модели реализована программа в рамках платформы .NET 3.0 (Windows Forms, язык C#).

Программа обладает следующими функциональными возможностями.

1. Интерактивное создание проекта.
2. Переменный горизонт планирования (до 99 лет).
3. Переменная структура временных интервалов фазы строительства и фазы начала производства.
4. Экономический анализ.
5. Интуитивно понятный графический интерфейс.
6. Наличие концессионных, налоговых схем.
7. Оценка сбалансированности интересов всех участников проекта.
8. Подробная структура денежных поступлений в бюджеты федерального, регионального уровня.

Код программы занимает более 10 тысяч строк.

Пятая глава посвящена вопросам построения агентных алгоритмов достижения соглашений при выборе концессионного проекта.

Формула оценки проекта (функция полезности) для агента «Государство» имеет вид взвешенной суммы нормированных значений критериев c_N , помноженных на удельные веса p :

$$\alpha = p_{c_B} \cdot c_{B,N} + p_{c_{PV}} \cdot c_{PV,N} + p_{c_{BT}} \cdot c_{BT,N} + p_{c_{BC}} \cdot c_{BC,N} + p_{c_S} \cdot c_{S,N} \quad (3)$$

где

c_B – величина денежных поступлений в бюджет;

c_{PV} – объем запланированного производства продукции;

c_{BT} – сроки создания производственных и инфраструктурных сооружений;

c_{BC} – объем затрат на строительство дорог и производственных сооружений;

c_S – объем заработной платы рабочих.

Веса же имеют следующие значения (полученные с помощью ранжирования по важности):

$p_{c_B} = 0.3$, $p_{c_{PV}} = 0.25$, $p_{c_{BT}} = 0.2$, $p_{c_{BC}} = 0.15$, $p_{c_S} = 0.1$, сумма которых равна 1.

Оценка проекта (функция полезности) для агента «Государство» $\alpha \in [0,1]$.

Формально оценка проекта (функция полезности) для агента «Инвестор» записывается так:

$$\beta = p_{c_I} \cdot c_{I,N} + p_{c_T} \cdot c_{T,N} + p_{c_R} \cdot c_{R,N} + p_{c_{RR}} \cdot c_{RR,N} , \quad (4)$$

где c_N – нормированная величина критерия и $\beta \in [0,1]$.

Чем больше проект сулит итоговой чистой прибыли, тем он более предпочтителен для агента «Инвестор» при прочих равных условиях. Это критерий c_I . Также критериями выступают сроки окупаемости проекта, коэффициент рентабельности, внутренняя ставка доходности проекта. Обозначим их соответственно c_T, c_R, c_{RR} .

Значения критериев нормируются по формуле:

$$x_N = \frac{x - \min}{\max - \min} . \quad (5)$$

Заинтересованность государства в проекте выражается как:

$$in_s = \alpha_1 + 1, \quad (6)$$

а заинтересованность инвестора:

$$in_i = \frac{\beta_1}{\beta_2}, \quad (7)$$

т.е. как отношение взвешенной оценки β_1 проекта, предложенного агентом государства, и оценки предпочтительности вложения инвестиционных средств в ценные бумаги β_2 .

Разработанный автором алгоритм поэтапного компромисса строит решение (выбирает проект среди заданных) с учетом интересов каждого агента, участвующего в переговорах.

Сам процесс переговоров между агентами может протекать и иначе. Подходящий проект можно не выбирать из множества, а формировать из подходящих элементов с помощью 1-сделок (сделка, перераспределяющая ровно один ресурс между агентами; в качестве ресурсов могут выступать объекты государственной собственности, денежные средства). Каждая такая сделка должна улучшать благосостояние агентов, исходя из их собственных оценок.

В заключительной, **шестой главе** рассматривается задача моделирования хода реализации проекта БЭМО (Богучанское энергометаллургическое объединение) с использованием агентного подхода. Предлагаются правила взаимодействия агентов, некоторые существующие методы прогнозирования состояния среды в краткосрочной перспективе и их точность применительно к задаче прогнозирования спроса на алюминий. Также приводится схема нового, гибридного подхода к прогнозированию, с использованием нейронных сетей и Марковских цепей, обладающая, с одной стороны, хорошей точностью предсказания, а с другой стороны – важными экстраполяционными свойствами. В конце главы описывается созданная автором программная оснастка модулей aMoSe (объем кода – 1,5 МБ) для качественного моделирования процесса реализации проекта БЭМО и специфицируется формат хранения данных о постановке исходной задачи моделирования.

В **заключении** подводятся итоги проделанной работы, и приводится список результатов.

Основные результаты работы

- На основе многоагентного подхода предложены: методика оценки совместной реализации проектов; алгоритм повышения вероятности

успешной реализации проекта в зависимости от средств, выделенных на устранение рисков и алгоритм согласованного выбора проектов при заданных критериях оценок проекта для различных участников.

- Разработана и апробирована многоагентная модель развития территориальной системы и модель концессионных отношений государства и частного сектора при реализации крупных проектов.
- Предложен гибридный подход на базе аппарата нейронных сетей и марковских цепей для прогнозирования значений заданных показателей многоагентной среды в будущем.
- Разработан программный инструментарий aMoSe для планирования и моделирования хода выполнения государственно-частных проектов с участием ТНК, а также для управления проектами; предложен формат WDP для хранения данных о структуре бизнеса ТНК, о показателях среды и поступлениях в госбюджет.

Публикации по теме диссертации

Публикации в журналах, входящих в перечень ВАК

1. Кадников В.Е., Лескин О.В., Чиркунов К.С. Имитационное моделирование логистических цепочек на примере задачи доставки продукции Богучанского алюминиевого завода на китайский рынок // Лизинг. – 2011. – № 10.
2. Чиркунов К.С. Агентное моделирование развития территориальной системы // Информатика и ее применения. – 2011. –Т. 5.— Вып. 1. – С. 58–64.
3. Чиркунов К.С. Совокупность инвестиционных проектов: экономическое обоснование // Проблемы теории и практики управления. – 2011. – № 10.
4. Чиркунов К.С. Агентный протокол переговоров государства и частного сектора на примере задачи выбора концессионного транспортного проекта // В мире научных открытий. – 2011. – № 8 (20) – С. 118–129.

Прочие публикации

5. Есикова Т.Н., Чиркунов К.С. Разработка агентной модели "Оценка реализуемости программ формирования и развития ИПТЗ (на примере

- Нижнего Приангарья - проект БЭМО)" // "Управление развитием крупномасштабных систем" (MLSD'2011) : Материалы Пятой междунар. конф. – М. : Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2011.
6. Кадников В.Е., Лескин О.В., Чиркунов К.С. Доставка продукции Богучанского алюминиевого завода на китайский рынок как задача имитационного моделирования // Имитационное моделирование: Теория и практика" (ИММОД'2011) : Сборник докладов конференции, Санкт-Петербург, 2011.
 7. Кадников В.Е., Лескин О.В., Чиркунов К.С. Имитационное моделирование логистических цепочек на примере задачи доставки продукции Богучанского алюминиевого завода на китайский рынок // Прикладная логистика. – 2011. – № 10.
 8. Чиркунов К.С. Разработка ПО для деловой игры «Концессии в крупных транспортных проектах» // Материалы XLIV Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» : Информационные технологии / Новосиб. гос. университет. Новосибирск, 2006. – С. 100–101.
 9. Чиркунов К.С. Агентный протокол переговоров государства и частного сектора на примере задачи выбора концессионного транспортного проекта // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2010) : Материалы Четвертой междунар. конф. – М. : Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2010.
 10. Чиркунов К.С. Компьютерная деловая игра «Концессия: способ реализации крупных транспортных проектов» // Материалы XLV Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» : Информационные технологии / Новосиб. гос. университет. – Новосибирск, 2007. – С. 152–153.
 11. Чиркунов К.С. Компьютерное моделирование реализации транспортных проектов федерального уровня // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2009) : Материалы Третьей междунар. конф. (5–7 окт. 2009 г., Москва, Россия). – М. : Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2009. – Т. 2. – С. 182–184.
 12. Чиркунов К.С. Моделирование развития территориальной системы на базе агентного подхода: основные понятия // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2010): Труды Четвертой междунар.

конф. – М. : Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2010.

13. Чиркунов К.С. Моделирование развития территориальной системы при низком уровне общих расходов на базе агентного подхода // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2010) : Материалы Четвертой междунар. конф. – М. : Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2010.
14. Чиркунов К.С. Разработка инструментария для прогнозирования мирового спроса с использованием аппарата нейронных сетей и марковских процессов (на примере алюминия). // “Управление развитием крупномасштабных систем” (MLSD'2011) : Материалы Пятой междунар. конф. – М. : Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2011.