

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ, НГУ)

---

Кафедра систем информатики

Архинчеева Светлана Михайловна

**Использование мультиагентного подхода для  
прогнозирования и мониторинга хода реализации инвестиционных  
программ (на примере Нижнего Приангарья).**

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**  
по направлению высшего профессионального образования  
230100.68 ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА  
ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Тема диссертации утверждена распоряжением по НГУ № 9 от «11» января 2012 г.

Руководитель

Есикова Т.Н  
К.э.н., вед.н.с. ИЭОПП СО РАН

Новосибирск, 2013 г.

## Оглавление

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>3</b>
<b>1. Постановка задачи</b>	<b>5</b>
<b>2. Мультиагентное моделирование</b>	<b>9</b>
2.1. Агентное моделирование как одно из направлений имитационного моделирования	9
2.2. Основные этапы исследований с использованием аппарата агентных моделей следующие:	11
2.3. Выбор инструментов для разработки	15
<b>3. Построение модели</b>	<b>17</b>
3.1. Основные объекты и агенты модели	17
3.2. Процесс моделирования	20
3.2.1. Функция отклика региона на полученные инвестиции	21
3.2.2. Получение оценки проекта реализации агентом «Государство»	23
3.2.3. Получение оценки проекта реализации агентом «Компания»	23
<b>4. Программная реализация</b>	<b>26</b>
4.1. Общая схема программного продукта.	26
4.2. Режим проектирования.	26
4.3. Интерактивная модель	29
<b>Заключение</b>	<b>31</b>
<b>Литература</b>	<b>32</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Инвестиционные программы развития регионов (например, программа освоения ресурсов Нижнего Приангарья, программа комплексного развития Южной Якутии и др.) являются довольно популярным инструментом решения крупных народнохозяйственных проблем с привлечением частного капитала. Однако результативность этого финансово-экономического инструментария согласования экономических интересов государства и частного неоднозначна. Интуитивно понятно поведение регионов (как отдельного хозяйствующего субъекта), интересы крупных компаний (на первый взгляд заинтересованных во входе в данный регион), однако совершенно неясно, как будет вести себя во времени система в целом при изменении геоэкономических условий. Для имитации подобных систем и прогнозирования ситуаций будущего представляется целесообразным использование мультиагентного подхода.

Цель данного дипломного проекта - разработка инструмента, позволяющего имитировать ход реализации инвестиционных программ с учетом изменения как внешней среды их реализации, так и смещение акцентов, целевых приоритетов в разносторонней палитре интересов отдельных участников (агентов) на базе мультиагентного подхода.

Для достижения поставленных целей исследовательской работы, в рамках магистерской диссертации можно выделить следующие этапы работы:

1. Постановка проблемы: изучение проблематики региональной экономики, роли инвестиционных программ в развитии регионов, накопленного опыта реализации инвестиционных программ за счет средств Инвестфонда. Спецификация возможных типов экономических задач, актуальных для прогнозирования возможных вариантов развития регионов при реализации инвестиционных проектов за счет средств Инвестфонда.

2. Изучение экономико-математического инструментария, наработанного в экономической кибернетике для решения задач прогнозирования и мониторинга регионального развития.

3. Изучение мультиагентного подхода: возможности, примеры практического использования, программные средства для разработки агентных моделей.

4. Выбор информационных технологий и программной среды для реализации поставленной задачи.

5. Разработка мультиагентной системы для прогнозирования и мониторинга хода реализации инвестиционных программ (на примере Нижнего Приангарья) и реализация прототипа приложения.

6. Апробация разработанного инструментария.

Имеющийся фактический материал для работы:

1. Теория, базы данных, экспериментальные установки, алгоритмы
2. Набор методик оценки инвестиционных проектов
3. Перечень первоочередных инвестиционных проектов регионального характера, реализующихся за счет средств Инвестфондов
4. Перечень приоритетных инвестиционных проектов в Красноярском крае, в том числе и в пределах Нижнего Приангарья
5. Прогнозные материалы по регионам Восточной Сибири

## 1. Постановка задачи

Стратегической целью развития Азиатской России является обеспечение устойчивого повышения уровня и качества жизни населения на основе сбалансированной социально-экономической системы инновационного типа, гарантирующей национальную безопасность, динамичное развитие экономики и реализацию стратегических интересов России в мировом сообществе.

Основные показатели социально-экономического развития крупного макрорегиона страны, как Сибири, к концу 2020 года должны соответствовать средне российским значениям. Для этого среднегодовой темп прироста суммарного валового регионального продукта, начиная с 2012 года должен превышать средне российский показатель. Такой подход к формированию стратегических целей развития макрорегиона определяется необходимостью преодоления отставания развития социального сектора и превращения регионов Сибири в территорию комфортного проживания и успешного ведения бизнеса.

Реализация крупных инвестиционных проектов по добыче и глубокой переработке минерально-сырьевых ресурсов (в том числе на основе государственно-частного партнерства) рассматривается как действенный механизм достижения тех задач развития, которые провозглашены в стратегиях развития. За счет бюджетных ассигнований Инвестиционного фонда Российской Федерации осуществлялось финансирование инвестиционного проекта «Комплексное развитие Нижнего Приангарья» (Красноярский край), подготовки инвестиционного проекта «Комплексное развитие Южной Якутии» (Р.Саха (Якутия)) и др.

Программа освоения ресурсов Нижнего Приангарья долгое время рассматривалась как пилотный проект, отработки новых приемов и методов хозяйствования, в первой четверти XXI столетия. Для этого имелся ряд предпосылок.

Во-первых, уникальность минерально-сырьевых ресурсов, которыми располагает этот регион. Исходя из стратегических интересов страны до сих пор не исчезла необходимость и потребность в создании основных производственных объектов Нижнего Приангарья, о которых говорилось еще в 80-ых – 90-ых годах того столетия. Это подтверждается тем фактом, что основные предприятия, намечаемых к реализации в те годы, включены в перечень крупных инвестиционных проектов «Стратегии экономического развития Сибири до 2020 г.».

Во-вторых, крупнейшие российские компании, которые активно позиционируют себя как транснациональные (алюминиевые, энергетические, нефтегазовые, а также лесного профиля), не только провозглашают свои намерения на реализацию проектов,

лежащих «под сукном» последнее десятилетие, но и принимают конкретные шаги по началу «реанимации» этих проектов. Эти компании по ряду признаков заинтересованы в ресурсах региона и при определенных условиях, могли бы «войти» в данный регион со своими проектами для достижения своих корпоративных интересов.

В-третьих, государство заинтересовано в сбалансированном развитии страны, в повышение устойчивости и стабильности социально-экономической ситуации в регионах Азиатской России и имеет возможность оказывать активную финансовую поддержку инвестиционным проектам на «совместной основе» с крупнейшими российскими транснациональными компаниями. При этом приобретает новый опыт и отрабатываются современные схемы взаимодействия «государство – компания – регион».

В-четвертых, налицо заинтересованность краевых властей в привлечении инвестиционных ресурсов в регион, и, соответственно, край, путем (через) создание наиболее благоприятных условий для развития компаний на их территории.

Кроме того, особый интерес к инвестиционному проекту комплексного освоения ресурсов Нижнего Приангарья обуславливается тем, что имеется довольно богатая история финансирования и реализации этого проекта, которая

- позволяет лучше понять истинные цели и задачи отдельных участников, формально заинтересованных в реализации этого проекта;
- понять причины отхода от тех задач, которые были поставлены в этом проекте, и довольно тщательно ранее обосновывалась их актуальность и приоритетность, и значимость для проекта, региона и страны в целом;
- выявить и формализовать алгоритмы, механизмы, обусловившие изменение отношения к этому проекту основных инвесторов – крупнейших транснациональных компаний;
- понять механизмы лоббирования своих интересов со стороны регионов и значимость на принятие окончательного решений влиятельности, «масштаба» фигуры (рейтинга) формальных лидеров региона (губернатора и его команды).

Отметим, что Нижнее Приангарье является типичным проблемным регионом ресурсного типа.

С одной стороны, налицо устойчивый интерес к этому региону, к его ресурсному потенциалу в последнее столетие. На территории этого региона расположены ценные полезные ископаемые: золото, полиметаллические руды, в первую очередь свинцово-цинковые, сурьма, ниобий, железные руды, сырье для производства алюминия,

редкоземельные элементы, нерудное сырье (магнезиты, тальк, известняки, кварциты), уголь. Использование конкурентных преимуществ российских минерально-сырьевых ресурсов (в условиях обостряющейся на мировых рынках борьбы за сырье), не только обеспечит доступ российских компаний к ресурсам высокого качества в ближайшие 20-25 лет, но и позволит аккумулировать финансовые средства для воссоздания и развития предприятий высоких технологий. Мировое сообщество очень жестко принимает новых игроков на рынках высоких технологий и конечной продукции, поэтому процесс адаптации и поиск ниши для поставок российских товаров на международные рынки займет не одно десятилетие.

С другой стороны, нельзя не заметить отсутствие практических шагов (на протяжении десятилетий) по активной реализации разработанных концепций и программ развития производительных сил этого региона в полном объеме, по постепенной смене приоритетов и контуров самой программы комплексного освоения региона Нижнего Приангарья. В определенной степени это обуславливается потерей «актуальности», приоритетности объектов региона с позиции основных инвесторов – транснациональных компаний. Это и обуславливают отход от первоначальной «задумки» инвестиционного проекта и недоиспользования потенциала региона и края в целом.

С учетом всего вышесказанного, представляется интересным разработка инструментария, который позволит

- оценить возможность возникновения конфликта интересов основных экономических акторов. (Это особенно актуально в современных условиях резкого снижения экономической активности в мире, затрагивающего и наши экономические интересы и проявляющееся в смене интересов российских компаний);
- более корректно обосновать целесообразность в федеральных ассигнованиях для реализации инвестиционного проекта,
- более четко прогнозировать и более четко представлять возможные последствия еще на этапе первичной проработки проекта.

Выбор в качестве основного подхода - мультиагентного моделирования, обуславливается теми дополнительными возможностями, которые оно предоставляет исследователям:

- генерировать и учитывать изменение «окружения», «окружающей среды», в рамках которых будет проходить реализация проектов, будут вынуждены функционировать все основные агенты;

- моделировать изменение поведения основных агентов-участников инвестиционного проекта в зависимости от изменения геоэкономической и геополитической ситуации: например, ситуации на отдельных глобальных региональных рынках, изменения конкурентоспособности российских компаний и т.д.;
- моделировать разные механизмы «реализации», проявления внутренних интересов крупных российских транснациональных компаний при выработке своей тактики и стратегии поведения: оценки приоритетности проектов создания новых производственных мощностей (реконструкции) в зависимости от «насыщенности» того или иного глобального регионального рынка, общих трендов развития мировой и российской экономики и выстраивания корпоративной стратегии поведения компании в целом;
- моделировать разный ход развития события и прогнозировать возможные результаты реализации инвестиционных проектов с позиции основных участников (агентов): регион, компании, государство.

Возможность моделирования реального хода взаимодействия основных экономических агентов в процессе реализации инвестиционных проектов, как раз и обеспечивается самой логикой мультиагентного подхода, в рамках которого

- имеется возможность описания поведения компонент (элементов) процессов или систем на высоком уровне детализации;
- отсутствуют ограничения между параметрами имитационной модели и состоянием внешней среды системы;
- предусмотрена возможность исследования динамики взаимодействия компонент во времени и пространстве параметров системы.



## 2. Мультиагентное моделирование

Мультиагентное моделирование стало активно применяться в имитационном моделировании относительно недавно. Современная экономика – это сложная адаптивная система, которая не поддается изучению с помощью традиционных инструментов.

Поведение сложных систем формируется из взаимодействия множества агентов, каждый, из которых обладает определенными особенностями поведения, которые в совокупности могут привести к неожиданному и непредсказуемому результату.

Именно мультиагентное моделирование позволяет выявлять, как значительные последствия рождаются из небольших и на первый взгляд даже незначительных факторов, определяющих поведение и взаимодействие многих агентов.

Мультиагентное моделирование представляет собой инструмент, при помощи которого возможно успешное моделирование сложных адаптивных систем.

В мультиагентном моделировании агенты могут представлять людей, функции, организации, даже компьютерные программы. Агенты действуют как независимые целеустремленные сущности с поддающимися определению способностями и качествами. Таким образом, их поведение определяется набором правил, включающим правила изменения правил. В процессе моделирования они демонстрируют разнообразие поведения.

### 2.1. Агентное моделирование как одно из направлений имитационного моделирования

Имитационное моделирование — это метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему и с ней проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе. Экспериментирование с моделью называют имитацией (имитация — это постижение сути явления, не прибегая к экспериментам на реальном объекте).

Существует класс объектов, для которых по различным причинам не разработаны аналитические модели, либо не разработаны методы решения полученной модели. В этом случае аналитическая модель заменяется имитатором или имитационной моделью.

Имитационным моделированием иногда называют получением частных численных решений сформулированной задачи на основе аналитических решений или с помощью численных методов. Имитационная модель — логико-математическое описание объекта, которое может быть использовано для экспериментирования на компьютере в целях проектирования, анализа и оценки функционирования объекта.

Имитационное моделирование представляет собой численный метод проведения на ЭВМ вычислительных экспериментов с математическими моделями, имитирующими поведение реальных объектов, процессов и систем во времени в течение заданного периода. При этом их функционирование разбивается на элементарные явления, подсистемы и модули. Функционирование этих элементарных явлений, подсистем и модулей описывается набором алгоритмов, которые имитируют элементарные явления с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени.

Цель имитационного моделирования состоит в воспроизведении поведения исследуемой системы на основе результатов анализа наиболее существенных взаимосвязей между ее элементами или другими словами — разработке симулятора исследуемой предметной области для проведения различных экспериментов.

Одним из видов имитационного моделирования является агентное моделирование. Агентное моделирование — относительно новое (1990-е-2000-е гг.) направление в имитационном моделировании, которое используется для исследования децентрализованных систем, динамика, функционирования которых определяется не глобальными правилами и законами (как в других парадигмах моделирования), а наоборот, когда эти глобальные правила и законы являются результатом индивидуальной активности членов группы. Цель агентных моделей — получить представление об этих глобальных правилах, общем поведении системы, исходя из предположений об индивидуальном, частном поведении ее отдельных активных объектов и взаимодействии этих объектов в системе. Агент — некая сущность, обладающая активностью, автономным поведением, может принимать решения в соответствии с некоторым набором правил, взаимодействовать с окружением, а также самостоятельно изменяться.

Аппарат агентного моделирования лежит в русле основных проблем, стоящих сейчас в экономической науке, когда необходимо не просто прогнозировать разные сценарии развития стран, а в условиях воздействия этих стран на сами сценарии развития, учитывать их влияние на мировую ситуацию.

Агентные модели позволяют моделировать экономические субъекты, которые являются в определенной степени, автономными объектами (способными самостоятельно реагировать на внешние события и выбирать соответствующие действия), децентрализованными (глобальное состояние моделируемой системы можно вывести из взаимодействия агентов), целеустремленными, гибкими и «обучаемыми», интеллектуальными и др.

## 2.2. Основные этапы исследований с использованием аппарата агентных моделей

Использование мультиагентного подхода для исследования экономических систем, процессов их развития не нарушает традиционный набор этапов экономико-математического моделирования:

- Экономическая постановка задачи;
- Экономико-математическая постановка задачи средствами агентного моделирования;
- Разработка прототипа агентной модели;
- Программная реализация прототипа агентной модели и проведение экспериментальных отладочных расчетов.

*Экономическая постановка задачи.* Уточнение принципов и особенности построения экономической модели с учетом возможностей агентного подхода. Эта работа является наиболее сложной и требующей доработки на данный момент времени. С одной стороны, существует богатейший опыт постановки и решения экономико-математических задач. Большинство этих задач были поставлены в рамках идеологии оптимизационно-имитационного моделирования. Они отвечали на очень большой спектр вопросов в рамках плановой экономики. Однако, принципиальное изменение характера задач прогнозирования, институциональные изменения на всех уровнях территориальных систем, коммерциализация и закрытость информационных потоков повлияли на снижение востребованности задач данного типа. При этом возрастает потребность в моделировании и прогнозировании развития страны, ее регионов при учете влияния мирохозяйственной системы в целом. С другой стороны, нет практического опыта постановки новых типов экономико-математических задач на базе более гибкого инструментария. Причем проблема упирается в отсутствие развитого инструментария, доступного для непрограммистов, приемов экономического моделирования в рамках идеологии агентного моделирования, а также в отсутствие достаточной структурированности экспертной информации, которую можно было бы рассматривать как исходную.

Очевидно, что агенты имманентно присущи экономическим системам. Однако, экономические агенты и агенты как основная сущность агентной модели – это не всегда совпадающие понятия. Оценить на начальном этапе достаточность или избыточность предполагаемых типов агентов сложно в связи с отсутствием опыта решения задач такого типа, примеров формализованного описания агентов и правил его поведения, степени

детализации информации с учетом ее «значимости» для накопления базы знаний для обучения агента и др.

На основе рассматриваемой мною задачи по прогнозированию хода реализации инвестиционных программ на основе государственно-частного партнерства, был построен прототип экономической модели. Были выделены агенты и окружающая среда, в которой они взаимодействуют. Для каждого из агентов были сформулированы характеристики и правила поведения, согласно которым он действует. Были выделены следующие агенты, функционирующие в системе: государство, регион, компания, предприятие. Все эти агенты действуют в рамках инвестиционного проекта, согласно которому должно быть реализовано строительство объектов и предприятий по добыче и производству различных ресурсов. Также сформулированы характеристики, на основе которых задается окружающая среда.

*Экономико-математическая постановка задачи средствами агентного моделирования.* В определенной степени проблемы, которые возникают на этом этапе, схожи с проблемами экономико-математической задачи формализованного описания развития территориальных систем. Необходимо корректно сформулировать основные экономические условия и исходные посылки; выделить перечень основных факторов; сформировать представительное множество потенциально-возможных вариантов развития ситуаций, выбрать критерии оценки и др. Экономическим агентом в аспекте мультиагентного моделирования можно считать интеллектуального агента, функционирующего в экономической среде. Согласно занимаемому агентом положению он обязан исполнять ту или иную роль. Присущие ему уникальные интересы, характерные особенности обуславливают различные стратегии достижения цели и даже, возможно, преследовать различные цели при исполнении той или иной роли. Решение агента описывается как выбор значений некоторых переменных (объема производства, продаж, потребления и т.п.), доставляющих максимум некоторой величине, формально описывающей интересы агента (прибыли, полезности и т.п.) из множества допустимых значений.

На основе экономической постановки задачи была сформулирована экономико-математическая постановка. В моей агентной модели для каждого агента, помимо характеристик, описывающих их, были выделены интересы и цели, которые они преследуют. Также были сформулированы те факторы, на основе которых агенты принимают свои решения и которые влияют на их поведение.

В общем случае агент определяется набором:

$\langle S, \text{Prog}, \text{Eff}, \text{Arch}, P, A, G, E \rangle$ , где

- E (environment) – внешняя среда, в которой функционирует агент;
- S (sensors) – множество входов, с помощью которых агент воспринимает информацию из внешней среды;
- Eff (effectors) – множество выходов, с помощью которых агент влияет на внешнюю среду;
- P (percepts) – информация, которую получает агент;
- A (actions) – реакция агента;
- Prog (program) Prog:  $P \rightarrow A$  – функция, определяющая зависимость реакции агента от входных воздействий;
- G (goal) – цели, которые достигает агент;
- Arch (architecture) – физическая оболочка, которая объединяет все базовые элементы агента.

Набор S, Prog, Eff, Arch определяет базовую конструкцию агента (его каркас), в то время как P, A, G, E – его содержательное «наполнение».

Для агентов, функционирующих в рамках модели, построенной для моей задачи, агенты функционируют в окружающей среде (Environment), которая задается спросом на ресурсы на российском, евразийском и мировом уровне.

Формально поведение агента описывается как решение некоторой задачи оптимизации или, как еще говорят, принципом оптимальности. Как правило, ограничения на допустимые значения определяемых агентом переменных можно разделить на две группы: внутренние технологические, и внешние институциональные.

На данный момент времени именно формализация экономической постановки задачи средствами агентного моделирования является одним из наиболее сложных этапов. Именно на этом этапе выявляется некорректность самой экономической постановки, недостаточность информации и «схоластичность» (с позиции описания агента) сформулированных экономических условий.

**Разработка прототипа агентной модели.** Уточнение функциональных требований к программному средству по мере приобретения опыта моделирования на базе агентного подхода. Разработка прототипа агентной модели проводится в три этапа. Сначала – обзор существующего инструментария для постановки и решения агентных моделей в экономических исследованиях. Потом – отработка приемов разработки

прототипа агентной модели на базе какой-нибудь классической модели. И наконец, сама реализация.

В рамках поставленной передо мной задачи был разработан прототип агентной модели для прогнозирования хода реализации инвестиционных программ. На первом этапе мною был изучен существующий инструментарий для решения подобных задач. Далее следовал этап реализации поставленной задачи, на основе изученного материала.

*Программная реализация прототипа агентной модели и проведение экспериментальных отладочных расчетов.* В настоящее время мультиагентные системы получили широкое применение в таких областях как системы телекоммуникации, поисковые системы, логистика, компьютерные игры, САПР, системы управления и контроля. Основываясь на простых правилах поведения и взаимодействия агентов, естественные системы явно проявляют групповой интеллект. Естественные системы способны не только выживать, но и адаптироваться.

Агентное моделирование требует:

- Определить агентов и теоретические основы поведения агентов;
- Определить взаимоотношения между агентами и теоретические основы таких отношений;
- Найти платформу для агентного моделирования и разработать стратегию агентной модели;
- Получить необходимые данные для агентов;
- Проверить (этап валидации) модели поведения агентов (в дополнение ко всей модели в целом);
- Запустить модель и проанализировать выходные данные с точки зрения связи между поведением агентов на микроуровне и поведением всей системы в целом.

Для экономических моделей основным элементом является некое количество взаимодействующих между собой «агентов». Агент представляет собой «некую сущность, которая обладает активностью, автономным поведением, может принимать решения в соответствии с некоторым набором правил, может взаимодействовать с окружением и другими агентами, а также может изменяться.

Агент должен обладать следующими характеристиками:

- Агент является «идентифицируемым», т.е. представляет собой конечного индивидуума с набором определенных характеристик и правил, определяющих его поведение и правила принятия решений. Агент автономен и может

независимо действовать и принимать решения по взаимодействию с другими агентами.

- Агент находится в определенной среде, позволяющей ему взаимодействовать с другими агентами. Агент может коммуницировать с другими (контактировать при определенных условиях и отвечать на контакт).
- Агент имеет определенную цель (но не обязательно целью является максимизация блага, как принято считать в классической экономике), влияющую на его поведение.
- Агент гибок и обладает способностью самообучения с течением времени на основе собственного опыта. В ряде случаев агент может даже изменять правила поведения на основе полученного опыта.

В целом специалисты выделяют три стадии построения агентной модели:

- Определение границ модели: какое явление/событие моделируется, каковы его рамки.
- Определение поведения/взаимодействия агентов: разработка модели поведения/принятия решений агентом и его взаимодействия с остальными агентами.
- Разработка и апробация модели, проведение анализа чувствительности.

Практически неограниченные возможности по программированию агентов дают возможность исследователю создавать при необходимости очень сложные модели, в которых в деталях можно отразить процесс принятия решений покупателями. Особо следует подчеркнуть, что агентное моделирование позволяет моделировать иррациональные моменты принятия решений, на которых акцентирует внимание поведенческая экономика. В связи с этим имитационное моделирование становится мощным инструментом поддержки принятия решений для руководителя: например, перед проведением рекламной кампании заказчик может оценить ее потенциальный эффект на целевую аудиторию и приблизительно выявить потенциальную отдачу от вложенных средств и, соответственно, целесообразность данных затрат.

Перспективы агентного моделирования впечатляют. Однако, несмотря на колоссальный потенциал данного вида моделирования, при разработке моделей очень важно грамотно сформулировать проблему и, исходя из этого, поставить задачу. А это требует высокой экспертизы и опыта – в противном случае «мусорные» данные на входе дадут такой же результат и на выходе. Для того, чтобы этого не произошло, модель необходимо разрабатывать, опираясь на накопленные в компании базы данных о

поведении клиентов, их ценовых предпочтениях, мотивах выбора и т.п. К сожалению, на практике зачастую многие компании имеют очень условное представление об особенностях потребительских предпочтений и мотивации выбора клиентов.

### **2.3. Выбор инструментов для разработки**

После анализа средств, проведенного выше можно выделить основные критерии, руководствуясь которыми, был произведен выбор инструмента. Важными критериями является относительная простота в изучении, достаточный, но не избыточный набор инструментов для создания модели, удобство работы, наличие дружественного интерфейса, возможность создавать графическое представление модели, не прибегая к дополнительным инструментам.

Разработка инструментария осуществляется с использованием технологии C# (Microsoft Visual Studio 12 .NET 4.5). В качестве базы данных используется MySQL.



### 3. Построение модели

Построение агентной модели это наиболее сложный этап экономико-математического моделирования. Во-первых, потому что необходимо очень хорошо представлять процессы, происходящие в реальной экономике отдельных регионов, особенности отдельных финансово-экономических инструментов, применяемых для достижения тех или иных целевых установок, особенности функционирования или экономической «жизнедеятельности» отдельных участников-агентов, функционирующих в этих экономических системах, задействованных в реализации инвестиционных проектов и т.п. Во-вторых, требуется хорошее представление свойств и возможностей мультиагентного подхода, для того, чтобы точно представлять возможности аппарата для решения задачи. Следует иметь в виду, что пока еще довольно скромный опыт использования агентных моделей для моделирования жизнедеятельности сложных территориальных экономических систем, и, соответственно, трудно воспользоваться отработанными приемами формализации экономических сущностей. В-третьих, необходимо не только построить модель, но и разработать приложение, реализующее прототип сформированной агентной модели территориальной системы экономической природы.

В целом, можно предложить следующие этапы при построении математической модели:

- Выделение основных сущностей и агентов (участников моделирования) и определение их основных целей в рамках моделируемого процесса;
- Формализация алгоритмов и механизмов взаимодействия между сущностями и агентами системы;
- Формирование последовательности процесса моделирования.

#### 3.1. Основные объекты и агенты модели

Анализ проблемы показал целесообразным выделить сущность «Проекты», в рамках которой будет происходить взаимодействие между агентами. В модели присутствует четыре основных типа агента – агент «Государство», агент «Регион», агент «Компания» и агент «Предприятие»: агенты системы обладают набором свойств и механизмами поведения и взаимодействия друг с другом. В качестве окружающей среды будет рассматриваться конъюнктура мирового рынка и рынка страны.

«Проект». Для проектов введем обозначение  $Pr = \{Pr_1 \dots Pr_m\}$ .

Проект – это некоторая сущность, которая представляет собой набор различных предприятий и объектов, размещенных в регионе. В рассматриваемом мною примере это проект комплексного развития Нижнего Приангарья, который включает себя следующие отраслевые комплексы: топливно-энергетический комплекс, цветная металлургия, черная металлургия, лесопромышленный комплекс и ряд инфраструктурных проектов.

Проекты обладают рядом характеристик, такие как краткое наименование, полное наименование, проектировщики, краткое и полное описание. К проекту привязана карта региона, на которой будут размещены предприятия в рамках этого проекта.

- $Pr = \{Pr_1 .. Pr_m\}$  – множество проектов;
- $Type(Pr): Pr \rightarrow ptype$  – тип проекта
- $Source(P): Pr \rightarrow T$  – отраслевая принадлежность.
- $PrRate: Pr \rightarrow [0,1]$  – рейтинг проекта.

$$prRate(Pr) = \frac{\sum_E exRate(E, Pr)}{|E|}$$

Для каждого проекта мы также имеем функцию отклика региона, которая в свою очередь дает возможность заранее прогнозировать темпы экономического роста в регионе с учетом реализации в нем того или иного инновационного проекта.

**Агент «Предприятие».** Обозначим агенты «Предприятия» как  $P = \{P_1 .. P_f\}$ . Предприятия добавляются в модель в рамках какого-то конкретного проекта. У этих агентов есть краткое наименование, краткое и подробное описание, страна, субъект и населенный пункт, где предполагается расположение предприятия, направление деятельности, мощность, сроки строительства предприятия, сумма инвестиций, инвесторы и обозначение для ресурса, производимого предприятием. У предприятия также есть конкретное месторасположение в регионе.

- $P = \{P_1 .. P_f\}$  – множество предприятий;
- $Res(P_i)$  – ресурс, который производит предприятие
- $Capacity(P_i)$  – производственная мощность i-го предприятия;
- $Year(P_i)$  – предполагаемая дата окончания строительства предприятия.
- $Build(P_i): P \rightarrow \{0,1\}$  – будет ли i-е предприятие построено.

**Агент «Государство».** Обозначим Агент «Государство» как *StateExpert*. Совокупность агентов «Государство» - это сообщество, представленное экспертами государственного уровня, которые принимают ключевые решения по инвестированию в различные проекты.

У каждого представителя этого сообщества есть своя оценка целесообразности реализации того или иного проекта.

Основной целью экспертов государственного уровня является лоббирование своих интересов среди других экспертов. Основным интересом и целью каждого эксперта является продвижение наиболее привлекательного для него проекта исходя из определенного набора критериев и предпочтений. Эксперты государственного уровня обладают следующими свойствами:

- *Relation*:  $S \times S \rightarrow \mathbb{R}$  - функция отношения между экспертами;
- *StateExpertRating* :  $S \times Pr \rightarrow [0,1]$  - функция рейтинга проекта у эксперта;
- *StateExpertWeighth*:  $S \rightarrow [0,1]$  – вес эксперта.

Агент «Государство» обладает следующими характеристиками:

- Эксперты государственного уровня выбирают для себя наиболее приоритетный проект для лоббирования, на основе того, какому проекту был выставлен максимальный рейтинг:

$$Choice(Pr) = \{Pr: \max(StateExpertRating)\}$$

- *ChoiceRel*(*Relation*, *StateExpertRating*, *HeadRating*) – эксперты принимают решение, согласиться ли на предложение того или иного эксперта регионального уровня, который в свою очередь лоббирует реализацию проекта на территории своего региона.

**Агент «Регион».** Обозначим агенты «Регионы» как  $Region = \{R_1 .. R_k\}$ . Основная цель Агента «Регион» - получение инвестиционных средств на реализацию проектов именно на территории данного региона, так как за счет этого может повыситься уровень жизни в регионе, появятся дополнительные рабочие места, региональный бюджет пополнится за счет финансирования со стороны государства. Агенты представлены экспертами регионального уровня. Эти эксперты имеют определенные механизмы влияния на решения государства о выдаче инвестиционных средств. Регионы пытаются через своих представителей (глав субъекта, глав региона, министров) пролоббировать принятие желаемого решения. Эксперты регионального уровня обладают следующими свойствами:

- *P*:  $R \rightarrow [0,1]$  – инвестиционный потенциал региона;
- *HeadRating*:  $R \rightarrow [0,1]$  – рейтинг главы региона;
- *FoProj*:  $R \rightarrow \{0,1\}$  – наличие крупных федеральных проектов на территории региона;

- $stype: R \rightarrow Type$  – тип экономики в регионе;
- $spectype: R \rightarrow specType$  – тип региона по специализации;
- $Relation: R \times S \rightarrow \mathbb{R}$  – функция влияния эксперта регионального уровня на эксперта федерального уровня.

Каждый «Регион» привязан к своему федеральному округу  $FO_i$  (множество Федеральных округов  $FO = \{FO_1 .. FO_8\}$ ).

**Агент «Компания».** Обозначим агенты «Компании» как  $C = \{C_1 .. C_l\}$ . Основной целью компаний является финансирование в реализацию проектов и строительство предприятий, способных принести наибольшую выгоду и прибыль. Каждая компания обладает рядом характеристик, такие как название, описание, отрасль, продукция, год основания, расположение, руководитель и уровень компании (российский, евразийский международный). С каждой компанией связаны предприятия, строительство которых она ведет.

- $C = \{C_1 .. C_l\}$  – множество компаний;
- $Source(C)$  – отраслевая принадлежность компании.

**Окружающая среда.** Окружающей средой является конъюнктура российского и мирового рынка. Она представлена ресурсами  $Res = \{Res_1 .. Res_t\}$ .

У каждого ресурса есть спрос на него на российском, евразийском и мировом рынке. Также ресурс может быть транспортируемым или не транспортируемым (trans, not\_trans).

Для каждого ресурса задается динамический ряд по спросу на него по годам (2020, 2025, 2030, 2035).

- $Res = \{Res_1, ..., Res_n\}$  – множество ресурсов, использующихся для задания окружающей среды;
- $Sr(Res_i)$  – спрос на  $i$ -й ресурс на российском уровне;
- $Se(Res_i)$  – спрос на  $i$ -й ресурс на евразийском уровне;
- $Sw(Res_i)$  – спрос на  $i$ -й ресурс на мировом уровне;
- $t(Res): Res \rightarrow \{0,1\}$  – является ли ресурс транспортируемым.

### 3.2. Процесс моделирования

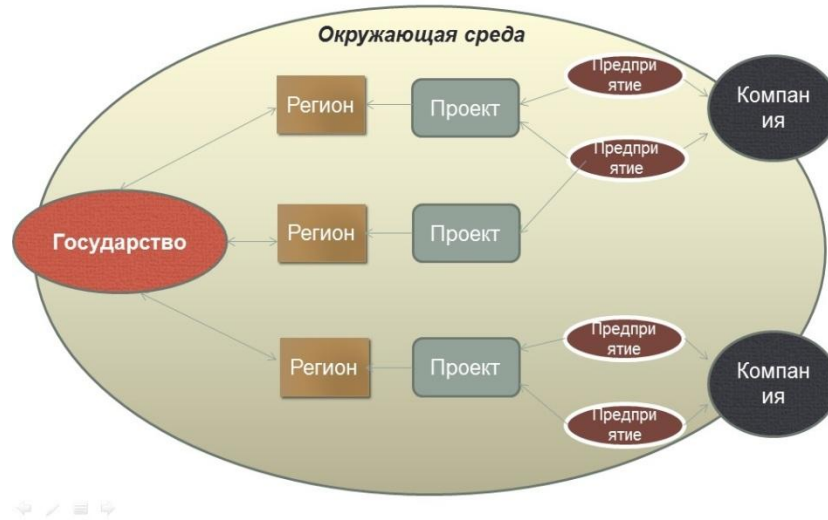


Рисунок 1. Общая схема агентной модели.

Процесс моделирования включает в себя следующие этапы:

- Формирование основных сущностей и агентов модели;
- Получение оценки реализации проекта агентом «Государство»;
- Получение оценки реализации проекта агентом «Компания».

В начале построения модели создается проект с определенными характеристиками и картой региона, в котором планируется реализация данного проекта. Далее на карту проекта наносятся агенты «Предприятия», строительство которых планируется в рамках данного проекта. Для каждого проекта, возможно, установить, является ли его реализация целесообразной. Это можно сделать с помощью функции отклика. В зависимости от этого значения проект будет реализован или нет.

После этого в систему вводятся агенты «Компании», которые могут быть инвесторами строительства данных предприятий, агент «Регион», на территории которого реализуется проект и агенты «Государство», принимающие решение о реализации проекта. В рамках каждого проекта реализуется строительство предприятий, нацеленное на выработку и производство некоторого ресурса. Для того чтобы задать окружающую среду, в рамках которой будут действовать агенты, задается спрос на эти ресурсы. Есть возможность изменения окружающей среды, количества агентов и их параметров в зависимости от рассматриваемой ситуации.

В результате в модели заданы следующие сущности и объекты:

- Агенты «Государство»;

- Агенты «Регион»;
- Агенты «Компании»;
- Агенты «Предприятия»;
- Проекты и их отношения к регионам;
- Окружающая среда для российского, евразийского и мирового рынка.

После того, как все сущности модели созданы и описаны, запускается процесс взаимодействия между экспертами, которые происходят в реальной жизни. Оценка проекта экспертом государственного уровня, реализуется на основе значения функции отклика и на основе взаимодействия с экспертом «Регион». Если переговоры с экспертами регионального уровня проходят успешно, то рейтинговая оценка для проекта может резко возрасти.

Для компаний основным критерием для строительства предприятий, является возможная прибыль. Таким образом, для агента «Компания» будет являться спрос на ресурс. Агент «Компания» будет рассматривать проекты, реализация которых согласована агентом «Государство». Агент «Компания» будет вкладывать средства в те предприятия, на продукцию которых есть спрос и которые в дальнейшем смогут принести прибыль.

### ***3.2.1. Функция оценки отклика региона на полученные инвестиции***

В реальной жизни проект, может быть реализован в регионе, в котором нет соответствующих предпосылок для его реализации. Например, может оказаться, что сырьевой проект реализуется в регионе, в котором реальная доля этого сырья незначительна, следовательно, и показатели экономического роста не изменятся с введением после того, как проект будет реализован в этом регионе. Чтобы избежать подобных ситуаций, необходимо иметь возможность заранее прогнозировать темпы экономического роста в регионе с учетом реализации в нем того или иного инвестиционного проекта.

Функции отклика позволяет прогнозировать реакцию на введение в регион нового инвестиционного проекта. Результирующими значениями для данной функции является кортеж из двух значений: валовой региональный продукт и отношение среднедушевых месячных доходов к прожиточному минимуму.

Для получения прогнозов по уровню валового регионального продукта и среднедушевых месячных доходов был разработан специальный алгоритм. Данный алгоритм состоит из следующих шагов:

- Прогнозирование уровня валового регионального продукта на основании заданных параметров, с учетом наличия предпосылок для успешной реализации проекта в регионе.
- На основании полученной оценки ВРП и уровня поступления налоговых сборов, дается прогноз по уровню среднедушевых доходов на душу населения.

Опишем данный более формально:

Пусть задано множество кортежей параметров для выбранного региона РФ  $X = \{ \langle p_{11} \dots p_{1n} \rangle, \langle p_{21} \dots p_{2n} \rangle, \dots, \langle p_{m1} \dots p_{mn} \rangle \}$ . Они представляют собой динамические ряды статистических данных, полученных из Росстата.

Пусть  $Y \subseteq X$  – произвольное подмножество кортежей параметров.

1. По выбранным параметрам строится прогноз их значений на следующий год.

$$p_{i(n+1)} = p_{in} * (1 + F(\langle p_{i1} \dots p_{in} \rangle))$$

$$F(\langle p_{i1} \dots p_{in} \rangle) = \frac{\sum_{j=2}^n \frac{p_{ij} - p_{i(j-1)}}{p_{i(j-1)}}}{n - 1}$$

2. На основании выбранных кортежей параметров строится продлении ряда валового регионального продукта на следующий год:

$$\text{ВРП} = 1 + (\sum_{p_{i1} \dots p_{in} \in Y} F(p_{i1} \dots p_{in}) + F(p_{\text{врп}1} \dots p_{\text{врп}n}))$$

3. Если в данном субъекте реализуется проект, отраслевая принадлежность которого совпадает с отраслевой принадлежностью региона, то

$$\text{ВРП}' = \text{ВРП} * 1.3$$

4. Аналогично пункту 2 данного алгоритма пересчитывается среднедушевой доход, в качестве кортежей параметров выбирается ВРП и налоговые сборы.

Полученный кортеж и дает нам оценку об изменении уровня жизни в регионе с учетом реализации проекта.

### **3.2.2. Получение оценки реализации проекта агентом «Государство»**

Для того чтобы запустить процесс взаимодействия между экспертами, мы должны задать всем экспертам государственного уровня начальные оценки по проектам, эти оценки должны отражать реальные решения, сделанные экспертами. Эти оценка должны основываться на перспективности каждого из проектов и исходить из реальной пользы, которую может принести проект для региона, положительно повлияв на темпы экономического роста. Но эксперты в системе – это реальные люди из жизни, а значит,

существует возможность их взаимодействия с экспертами регионального уровня, лоббирующими реализацию проектов на территории их региона.

В рамках прототипа модели предусмотрен механизм переговоров между экспертами, позволяющий им объединяться для лоббирования своих интересов. Далее описаны основные шаги разработанного механизма:

Шаг 1. Ранжирование проекта у агента «Государство». Эксперт государственного уровня выставляет проектам оценки.

Шаг 2. Если у агента «Регион», есть связь с агентом «Государство», то он может оказать свое влияние на эксперта государственного уровня. За счет этого рейтинговая оценка проекта повышается.

Шаг 3. Переход к следующему эксперту на шаг 1.

Шаг 4. Алгоритм завершается после того как множество экспертов государственного уровня становится пусто.

Результатом работы данного алгоритма является пересмотр оценок по проектам среди экспертов. В результате данного взаимодействия общая картина рейтинговых оценок может значительно измениться, и как следствие, повлечь за собой изменение в распределении инвестиционных средств между субъектами Российской Федерации. Важным здесь является показать, как человеческий фактор может в значительной степени повлиять на важные управленческие решения.

Если полученная рейтинговая оценка выше 0,9, то проект считается одобренным со стороны государства.

### ***3.2.3 Получение оценки реализации проекта агентом «Компания»***

Агент «Компания» принимает решение о финансировании в проект на основе возможной прибыли от строительства предприятий, в рамках этого проекта. Агент «Компания» рассматривает проект, реализация которого была согласована агентом «Государство». В рамках данного прототипа модели возможная прибыльность проекта оценивается спросом на продукцию, производимую предприятиями.

Алгоритм оценки спроса используются для анализа возможных результатов реализации инвестиционных проектов. В зависимости от заданных параметров для окружающей среды и заданных характеристик у агентов будет реализовано строительство тех или иных предприятий.

Алгоритм предназначен для просмотра списка компаний, которые будут отсеиваться в зависимости от спроса на ресурс, который они производят.



- $Res = \{Res_1, \dots, Res_n\}$  – множество ресурсов, использующихся для задания окружающей среды;
- $Sr(Res_i)$ – спрос на  $i$ -й ресурс на российском уровне;
- $Se(Res_i)$ – спрос на  $i$ -й ресурс на евразийском уровне;
- $Sw(Res_i)$ – спрос на  $i$ -й ресурс на мировом уровне;
- $t(Res_i) = 1, t(Res_i) = 0$  – является ли ресурс транспортируемым
- $Company = \{Company_1, \dots, Company_n\}$  – множество компаний, реализующих строительство предприятий;
- $P = \{P_1, \dots, P_f\}$ – множество предприятий;
- $Res(P_i)$  – ресурс, который производит  $i$ -е предприятие;
- $Capacity(P_i)$ – производственная мощность  $i$ -го предприятия;
- $Year(P_i)$  – предполагаемая дата окончания строительства предприятия.
- $Build(P_i) = 1$  – предприятие будет построено,  
 $Build(P_i) = 0$  – предприятие не будет построено.

Задан проект, с предполагаемыми для строительства предприятиями.

Для того чтобы предприятие было построено, необходимо чтобы на ресурс, который оно производит, был спрос, если спрос есть только за пределами региона, то ресурс должен быть транспортируемым. Производственные мощности предприятия должны удовлетворять спросу на продукцию.

Если все условия для строительства предприятия выполняются, то компания приходит в данный регион, если нет, то предприятия, в которых нет потребности, не строятся.

Шаг 1. Определяем ресурс или множество ресурсов  $Res_i$

Шаг 2. Для каждого ресурса определяем спрос на него в виде динамического ряда, представленного значениями:  $\{Sr(Res_i), Se(Res_i), Sw(Res_i)\}$

Шаг 3. Для каждого ресурса определим, является он транспортируемым или нет;  $t(Res) = 1, t(Res) = 0$

Шаг 4. Для каждого предприятия определим  $Res(P_i)$

Шаг 5. Если  $t(Res_i) = 1 \ \&\& \ Capacity(P_i) \geq Sr(Res_i) \ || \ Capacity(P_i) \geq Se(Res_i) \ || \ Capacity(P_i) \geq Sw(Res_i)$ , тогда  $Build(P_i) = 1$

Если  $t(Res_i) = 0 \ \&\& \ Capacity(P_i) \geq Sw(Res_i)$ , тогда  $Build(P_i) = 1$

Иначе  $Build(P_i) = 0$ .

## 4. Программная реализация

### 4.1. Общая схема программного продукта.

Реализованное программное средство предназначено для прогнозирования и мониторинга хода реализации инвестиционных программ.



Рисунок 2. Схема работы программного продукта

Программное обеспечение включает в себя прототип агентной модели, который в свою очередь содержит алгоритмическую часть, базу данных и пользовательский интерфейс.

Через пользовательский интерфейс входные данные, введенные пользователем, данные поступают в агентную модель. Агентная модель связана с базой данных, в которой хранятся все ранее сохраненные данные по проектам, агентам и окружающей среде. Туда же попадают все новые данные, введенные через пользовательский интерфейс. Агентная модель содержит алгоритмическую часть, благодаря которой происходит обработка данных. Результаты работы алгоритма предоставляются посредством пользовательского интерфейса.

### 4.2. Режим проектирования.

Работа с приложением начинается с добавления нового проекта. При добавлении задаются основные характеристики проекта и карта региона, в котором планируется размещение объектов.

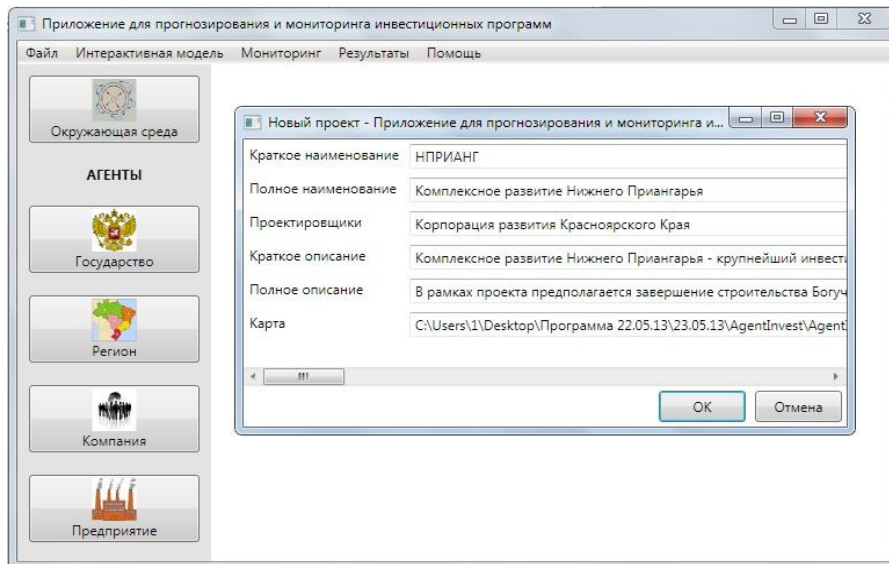


Рисунок 3. Создание нового проекта

После создания проекта открывается окно, в котором доступна боковая панель с окружающей средой, которую можно задать. Также на боковой панели расположен список агентов, которых можно добавлять в модель.

Для того чтобы разместить предприятия, строительство которых запланировано согласно инвестиционному проекту, необходимо нажать кнопку «Предприятие». На форме добавления нового предприятия вводим все необходимые параметры, после чего мы можем поместить это предприятие на карте.

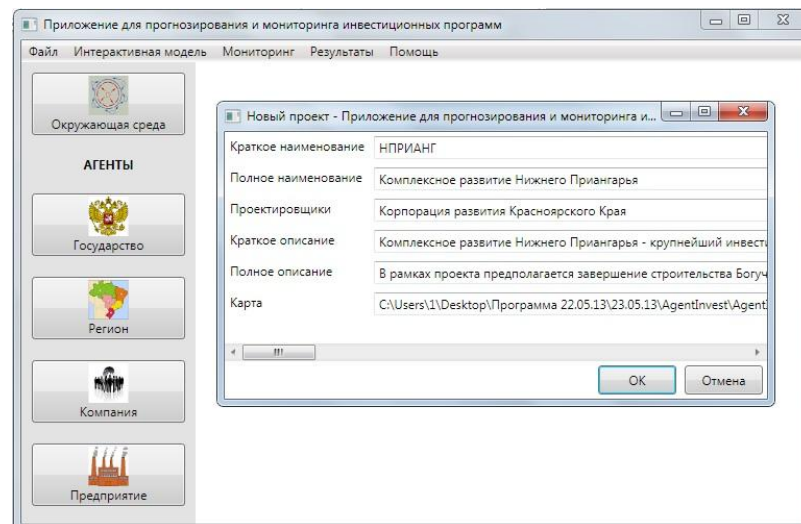


Рисунок 4. Добавление агента "Предприятие"

После этого мы можем ввести агентов государственного и регионального уровня.

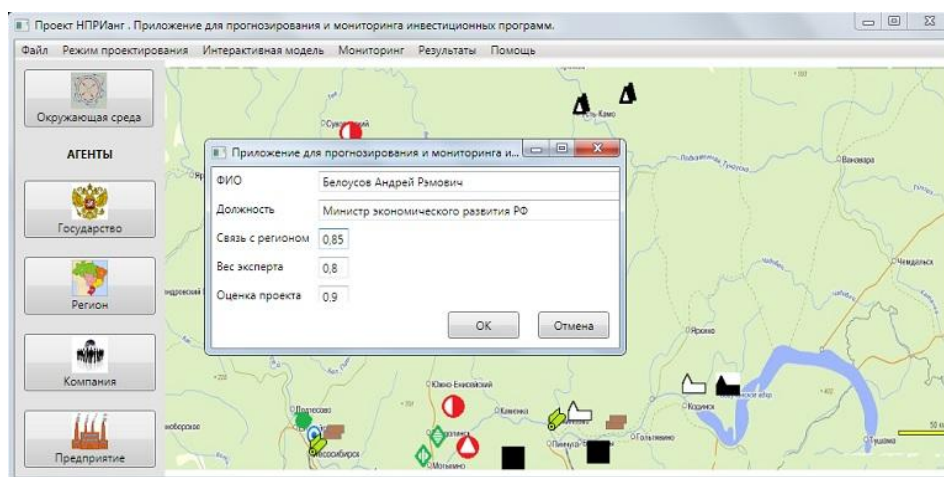


Рисунок 5. Добавление агента "Государство"

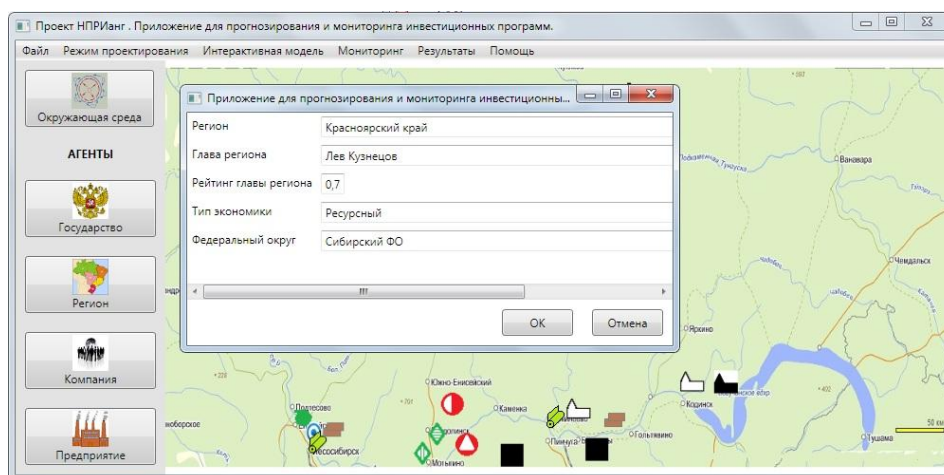


Рисунок 6. Добавление агента "Регион"

Добавить в проект агент компанию, можно нажав на кнопку «Компания» и заполнив на форме все необходимые характеристики.

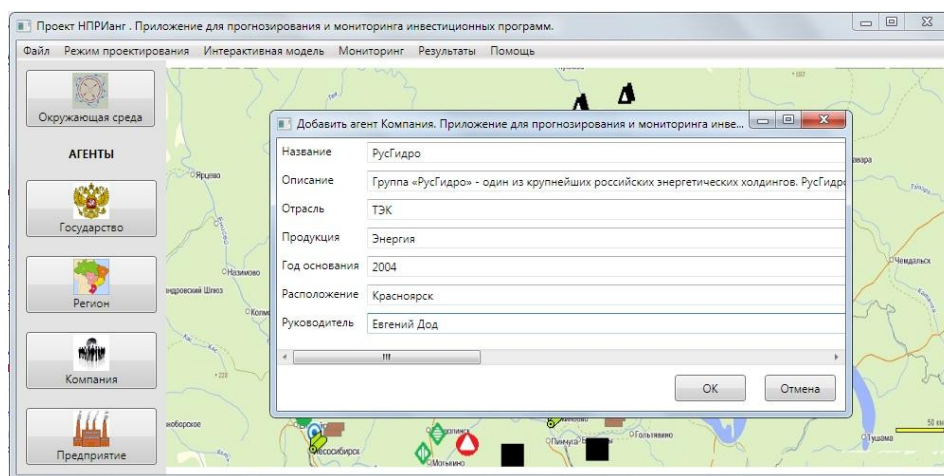


Рисунок 7. Добавление агента "Компания"

Нажав на кнопку «Окружающая среда» мы можем просмотреть список ресурсов с соответствующими им характеристиками. Также у пользователя есть возможность

редактировать список имеющихся ресурсов или добавлять новые ресурсы. Таким образом, задается окружающая среда, в рамках которой действуют агенты и которая влияет на их поведение.

Работать в приложении в режиме проектирования можно как при создании проекта, так и в дальнейшем, используя кнопку Файл → Открыть проект. У пользователя есть возможность редактировать уже существующий проект, изменяя те или иные параметры.

### 4.3. Интерактивная модель

Интерактивная модель подразумевает работу с расчетами и алгоритмами, а также просмотром полученных результатов. В режиме интерактивной модели можно рассчитать значение функции отклика для проекта, на основе которой может быть получена оценка эксперта. С помощью алгоритма можно спрогнозировать строительство каких предприятий будет реализовано.

Перейти в интерактивный режим можно по клавише «Интерактивная модель». Данная модель позволяет выполнять следующие функции:

- Просмотр результатов на основе выбранного алгоритма;
- Просмотр полученных результатов
- Экспорт данных в формате xml.

На приведенном ниже примере представлена работа в режиме «Интерактивная модель». Мы открываем созданный проект в этом режиме и видим все предприятия, которые планируется построить в рамках этого проекта.

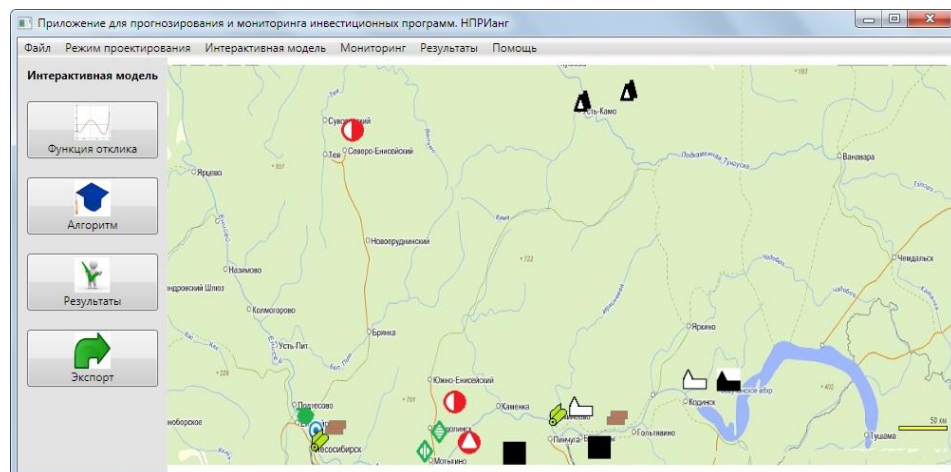


Рисунок 8. Просмотр проекта в режиме "Интерактивная модель"

Посмотреть какие предприятия согласно проекту будут реализованы, а какие нет согласно алгоритму можно нажав кнопку «Алгоритм».

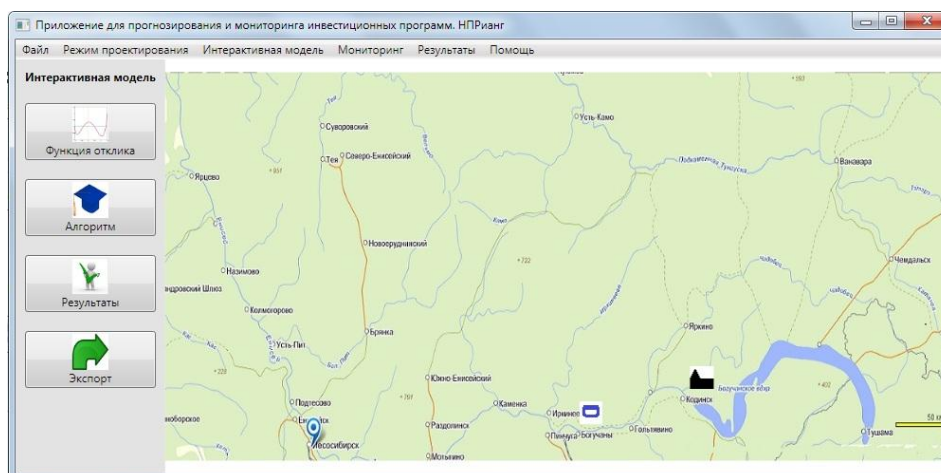


Рисунок 9. Применение алгоритма

После применения алгоритма, получена карта с теми предприятиями, строительство которых удовлетворяет спросу на ресурс и стратегии компании, которая планирует строительство этого предприятия.

## Заключение

В процессе работы был изучен инструментарий для решения задач прогнозирования и мониторинга регионального развития посредством реализации инвестиционных программ. Были изучены возможности и примеры практического использования мультиагентного подхода. Были изучены программные средства для разработки агентных моделей. В результате был создан инструментарий на базе мультиагентного подхода

Основными результатами данной работы, которые можно рассматривать и как новизну проведенного исследования в рамках работы над магистерской диссертацией, являются следующими:

- Разработан прототип агентной модели, описывающей процесс реализации инвестиционных проектов. Модель позволяет создавать проекты с предприятиями и объектами, запланированными в рамках этого проекта. Есть возможность добавления в модель различных участников с заданными характеристиками, принимающих участие в реализации инвестиционной программы. Также имеется возможность задать окружающую среду, в рамках которой будут действовать участники проекта. Построенная модель позволяет имитировать процесс реализации инвестиционного проекта;
- В рамках модели доступен просмотр результатов реализации проекта в зависимости от изменений в окружающей среде, а также в зависимости от меняющихся целей и стратегий, согласно которым действуют агенты.
- Предложены и сформулированы алгоритмы агентной модели для описания схем, согласно которым будет происходить реализация проекта, в частности строительство объектов и предприятий, которые он в себя включает.

В развитии инструментального аппарата:

- предложены классы, структуры и функции, адекватно отражающие предметную область;
- выделены основные сущности и агенты системы;
- реализованы механизмы и алгоритмы взаимоотношения между ним;
- разработано формальное описание предложенных механизмов и алгоритмов.



## Литература

1. Имитационное моделирование с AnyLogic [Электронный ресурс]. URL: [http://www.xjtek.ru/anylogic/why\\_anylogic/](http://www.xjtek.ru/anylogic/why_anylogic/) (дата обращения 10.02.2012).
2. Борщев А. В. Практическое мультиагентное моделирование и его место в арсенале аналитика. Exponenta PRO, #3-4 (7-8) 2004, с. 38-47
3. Замятина Е.Б. Современные теории имитационного моделирования: Специальный курс. - Пермь: ПГУ, 2007. - 119 с.
4. AnyLogic. Учебное пособие по агентному моделированию. – 2004.
5. Поспелов И.Г. Экономические агенты и системы балансов: Препринт WP2/2001/03 – М.: ГУ-ВШЭ, 2001. – 68 с.
6. Нижнее Приангарье [Электронный ресурс]. URL: <http://npriangarie.ru> (дата обращения 10.02.2013).
7. Есикова Т.Н., Ионова В.Д. Снижение конкурентоспособности регионов Азиатской России в связи со сжатием ее индустриального экономического пространства // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2012: материалы 6-ой междунар. конф. (1-3 окт. 2012 г., Москва, Россия). В 2-х т. Т. 2 (секции 5-10) / под общ. ред. С.Н., Васильева, А.Д. Цвиркуна ; Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. - М., 2012. - С. 33-36..
8. Сибирь и Дальний Восток в долгосрочной стратегии развития интегрированной транспортной инфраструктуры Евразии / под науч. ред. С.Н. Васильева, В.И. Сулова, Т.Н. Есиковой [и др.] ; Иркутский гос. ун-т путей сообщения, Евроазиатский транспортный инновац. центр., ИЭОПП СО РАН, Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова РАН, ОАО "Рос. железные дороги", Ин-т востоковедения РАН. - Иркутск-Москва-Новосибирск, 2011. - 623 с.
9. Есикова Т.Н. Прогнозирование формирования новых поясов хозяйственного освоения в Азиатской России // Оптимизация территориальных систем / под ред. С.А. Суспицына; ИЭОПП СО РАН. - Новосибирск, 2010. - Гл. 22. - С. 451-469.
10. Шилдт Г. Полный справочник по С#: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 742 с.
11. А. Хейлсберг, М. Торгесен, С. Вилтамут, П. Голд Язык программирования С#: Издательство «Питер, 2012 – 784 с.