

На правах рукописи



Халиуллина Дарья Николаевна

**Математическое и программное обеспечение поддержки управления
развитием малых инновационных предприятий**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (Университет ИТМО).

Научный руководитель: доктор технических наук
Олейник Андрей Григорьевич

Официальные оппоненты: **Питухин Евгений Александрович,**
Доктор технических наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Петрозаводский
государственный университет", профессор кафедры
"Прикладная математика и кибернетика"

Ройзензон Григорий Владимирович,
Кандидат технических наук
Федеральное государственное учреждение
«Федеральный исследовательский центр
"Информатика и управление" Российской Академии
Наук», старший научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Государственный университет морского и речного
флота имени адмирала С.О. Макарова» (ФГБОУ ВО
«ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»),
г. Санкт-Петербург.

Защита состоится «27» декабря 2016 г. в «15» часов «30» минут на заседании диссертационного совета Д 002.199.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации Российской академии наук по адресу: 199178, Санкт-Петербург, В.О., 14 линия, д. 39, ауд. 401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук по адресу: 199178, Санкт-Петербург, В.О., 14 линия, д. 39 и на сайте <http://www.spiiras.nw.ru/dissovet/>.

Автореферат разослан «__» _____ 2016 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 002.199.01

кандидат технических наук



Фаткиева Роза Равильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы обусловлена тем, что при создании программных систем информационной поддержки управления объектами и системами различной природы необходимо учитывать их специфические особенности. В связи с этим в ряде случаев возникает задача разработки специализированного программного обеспечения.

Среди особенностей малых инновационных предприятий (МИП) можно отметить высокую долю затрат на НИОКР для создания новых продуктов (услуг), ограниченные ресурсы, отсутствие опыта маркетинга инноваций и практики работы на открытом рынке. В своем развитии эти предприятия могут столкнуться с такими проблемами, как отсутствие коммерчески привлекательной интеллектуальной собственности и финансовый риск разработок НИОКР в связи с длительностью научно-технических разработок. Поэтому к целям стратегического управления МИП и планирования их развития относятся выявление потенциальных проблем и вызывающих их причин, а также выработка и мониторинг реализации комплекса мер по предотвращению или уменьшению негативных последствий, вызванных этими проблемами.

Проведенный анализ литературных источников показал, что готовых программных решений для комплексной поддержки управления развитием МИП не существует. Используемые подходы к планированию развития МИП носят описательный характер. Одним из способов повышения эффективности принятия решений при управлении развитием МИП является создание и использование комплекса программ, позволяющего моделировать и проводить сравнительный анализ вариантов развития предприятия. Для этого необходимо разработать математический аппарат и алгоритмы прогнозирования и оценки последствий принятия управленческих решений в данной сфере. К функциям программного комплекса относятся формирование и оценка различных сценариев развития МИП, которые способны в условиях текущей ситуации обеспечить достижение поставленной цели. Для этого необходимо как решение прямой задачи планирования (определение результатов реализации сценария по входным данным), так и обратной (определение входных воздействий, которые приводят к получению заданных выходных значений). Упростить создание такого проблемно-ориентированного программного комплекса позволяет интеграция в него уже существующих программных разработок, обеспечивающих решение частных задач процесса принятия решений.

Представленная выше аргументация определяет актуальность настоящего диссертационного исследования.

Цель и задачи исследования. Цель – повышение эффективности управления структурой малых инновационных предприятий за счет исследования сценариев их развития с использованием имитационного моделирования.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

1. Анализ существующих решений в области математического и программного обеспечения, ориентированного на обработку данных при управлении развитием малых инновационных предприятий.
2. Разработка метода и технологии информационной поддержки принятия решений в сфере управления развитием малых инновационных предприятий.
3. Создание алгоритмов и программ, обеспечивающих комплексную реализацию разработанной технологии.

4. Разработка модели формального синтеза структуры системно-динамической модели развития МИП, соответствующей его когнитивной карте, и создание на основе модели синтеза специализированного человеко-машинного интерфейса для визуального формирования и анализа этих моделей.

5. Практическая реализация математического и программного обеспечения (комплекса программных средств), позволяющего повысить эффективность процессов обработки данных при решении задач поддержки управления развитием МИП.

Научная новизна

1. Метод и реализующая его технология информационной поддержки управления развитием МИП, которые в отличие от существующих обеспечивают формирование и сравнительный анализ альтернативных сценариев развития МИП, а также решение обратной задачи планирования для поиска начальных условий, приводящих к достижению заданных целевых показателей, что повышает эффективность принимаемых решений.

2. Архитектура программного комплекса, отличающаяся объединением готовых средства организации хранения данных и имитационного моделирования с разработанными в результате диссертационного исследования модулями, один из которых обеспечивает создание когнитивной карты МИП и синтез соответствующей структуры системно-динамической модели экспертом-консультантом, а второй реализует анализ и наглядное представление результатов имитационных экспериментов в режиме работы лица, принимающего решения.

3. Модель формального отображения когнитивной карты на структуру системно-динамической модели, которая в отличие от ментальных моделей основана на системе логических правил сопоставления компонентов когнитивной карты и системно-динамической модели.

4. Комплекс алгоритмов и программных средств, реализующих человеко-машинный интерфейс итерационного формирования согласованных структур когнитивной и системно-динамической моделей, а также процедуры анализа данных имитационных экспериментов и визуализацию результатов анализа развития МИП. Комплекс, в отличие от ранее существовавших программных средств, позволяет существенно сократить время разработки моделей и обеспечивает получение прогнозов развития МИП в интерактивном режиме.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость состоит в том, что в рамках исследования разработано математическое и алгоритмическое обеспечение комплексного решения задач прямого и обратного планирования вариантов развития МИП на основе имитационного моделирования с возможностью интерактивного варьирования условий. Созданная модель формального отображения когнитивной карты на структуру системно-динамической модели позволила создать алгоритмы автоматизированного синтеза структур проблемно-ориентированных системно-динамических моделей в соответствии с концептуальными представлениями экспертов о предметной области.

Практическая значимость: создано программное обеспечение (комплекс программных средств), обеспечивающее реализацию разработанного метода информационной поддержки управления развитием МИП. Особенностью разработанного программного комплекса является наличие графического

редактора, позволяющего автоматизировано формировать согласованные структуры когнитивной и системно-динамической моделей. Практическую ценность имеют разработанные с использованием результатов диссертационного исследования программные продукты: «Программная система оценки экономических рисков сценариев развития моногорода» (Свидетельство о регистрации ПО №17250 от 04.07.2011), «Инструментальная система поддержки стратегического планирования развития малого научно-инновационного предприятия» (Свидетельство о регистрации ПО №17039 от 28.04.2011).

Методология и методы исследования.

Для решения сформулированных в работе задач использованы когнитивный и системный анализ, методы теории принятия решений, теории множеств, системной интеграции программных средств. Для анализа данных разрабатывались дополнительные прикладные программы с использованием объектно-ориентированного программирования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод информационной поддержки управления развитием малых инновационных предприятий позволяет повысить эффективность принимаемых решений.
2. Архитектура программного комплекса объединяет оригинальные модули решения задачи формирования моделей МИП и обработки результатов имитационных экспериментов с инструментальными средствами имитационного моделирования и организации хранения данных.
3. Модель формального отображения структуры когнитивной карты МИП на структуру системно-динамической модели и разработанный на ее основе человеко-машинный интерфейс обеспечивает итерационное формирование согласованных структур когнитивной и системно-динамической моделей.
4. Проблемно-ориентированный комплекс программ повышает эффективность поддержки управления развитием МИП.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность подтверждается корректностью применяемых математических методов исследования. Полученные теоретические и экспериментальные зависимости не противоречат результатам других исследований. Теоретические зависимости подтверждаются проведенными экспериментами, а также имитационным моделированием.

Основные положения работы докладывались и обсуждались на: VII, VIII, IX всероссийских школах-семинарах «Прикладные проблемы управления макросистемами» (г. Апатиты, 2008, 2010, 2012 гг.), III-ей всероссийской научной конференции «Теория и практика системной динамики» (г. Апатиты, 2009, 2013 гг.), XI Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (г. Самара, 2009г.), 8th International Symposium ECONOMY & BUSINESS Economic Development and Growth (Sunny Beach, Bulgaria, 2009 г.), четвертой и пятой всероссийских научно-практических конференциях по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (г. Санкт-Петербург, 2009, 2011 гг.), международной заочной научно-практической конференции «Наука сегодня: теоретические аспекты и практика применения» (г. Тамбов, 2011 г.), IX mezinárodní vědecko - praktická conference «Moderní vymoženosti vědy (Praha, 2013

г.), X Всероссийская конференция "Прикладные проблемы управления макросистемами" (Апатиты, 2014 г.), XI Всероссийская конференция "Методологические проблемы управления макросистемами" (Апатиты, 2016 г.). Результаты диссертационной работы использованы в проекте №2.8 «Развитие методологии проектирования региональных информационных систем для информационно-аналитической поддержки задач развития Арктических регионов РФ» Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация» (2012-2014 гг.) и проекте РФФИ № 08-07-00301 «Разработка информационной технологии и распределенной информационно-аналитической среды поддержки инновационной деятельности» (2008-2010 гг.).

Результаты диссертационного исследования внедрены в учебный процесс в Кольском филиале Петрозаводского государственного университета, а также применялись для оценки вариантов реализации инновационного проекта Институтом химии редких элементов и минерального сырья Кольского НЦ РАН и малым предприятием «Новая реклама» в г. Апатиты. Использование подтверждено соответствующими актами и справками.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 печатных работ, из них 4 – в списке ВАК, оформлено 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Личный вклад автора. Теоретические и практические выводы, результаты экспериментов, основные научные положения получены и сформулированы автором самостоятельно.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка источников литературы и приложений. Работа изложена на 128 страницах основного текста, содержит 34 рисунка, 12 таблиц, список литературы включает 137 источников, из них 62 иностранных. Приложения представлены на 4 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы. Сформулированы основная цель, задачи исследования и положения, выносимые на защиту. Представлены методы, использованные для решения поставленных задач. Кратко излагается содержание диссертации.

В **первой главе** предлагается общая характеристика решаемой в работе проблемы. Под малым инновационным предприятием будем понимать субъект малого предпринимательства, осуществляющий инновационную деятельность.

Развитие МИП, как и других типов предприятий можно представить в виде последовательности сменяющихся фаз развития, количество и особенности которых определяется применяемой к рассмотрению моделью. Среди описанных в главе существующих моделей развития предприятий выделена разработанная Б. Ливехудом. Данная модель описывает фазы развития предприятия (пионерную, дифференциальную, интегральную), их особенности, проблемы, возникающие в каждой фазе, обосновывает необходимость структурных изменений при фазовом переходе. Модель Б. Ливехуда отличается полнотой и содержательностью, поэтому была взята за основу при разработке представляемого к защите метода информационной поддержки управления развитием МИП. Метод должен позволять определять момент времени для реализации решения по изменению

организационной структуры предприятия, а также характеристики необходимых управляющих воздействий.

Разрабатываемый метод и реализующая его технология ориентированы на информационную поддержку двух категорий пользователей. Первая категория – это «эксперты-консультанты», задача которых состоит в формировании компьютерной модели МИП, обеспечивающей имитационное моделирование вариантов развития МИП. Вторая категория – лица, принимающие решения (ЛПР), которые используют сформированную экспертами модель для анализа возможных вариантов развития МИП, выбора предпочтительного для них варианта и определение параметров его реализации.

Рассмотрение ограничивается первыми тремя фазами развития МИП, так как после этого предприятие, как правило, переходит в разряд средних. Дается обоснование использования имитационного моделирования для исследования развития МИП. В заключении главы сформулированы выводы и основные требования к средствам информационной поддержки эффективного управления развитием МИП.

Во второй главе предложен метод информационной поддержки управления развитием малых инновационных предприятий, позволяющий повысить эффективность принимаемых решений за счет последовательного решения задач прямого и обратного планирования с использованием имитационного моделирования динамики капитализации МИП. При формализации решаемой задачи введены представленные ниже обозначения (рисунок 1).

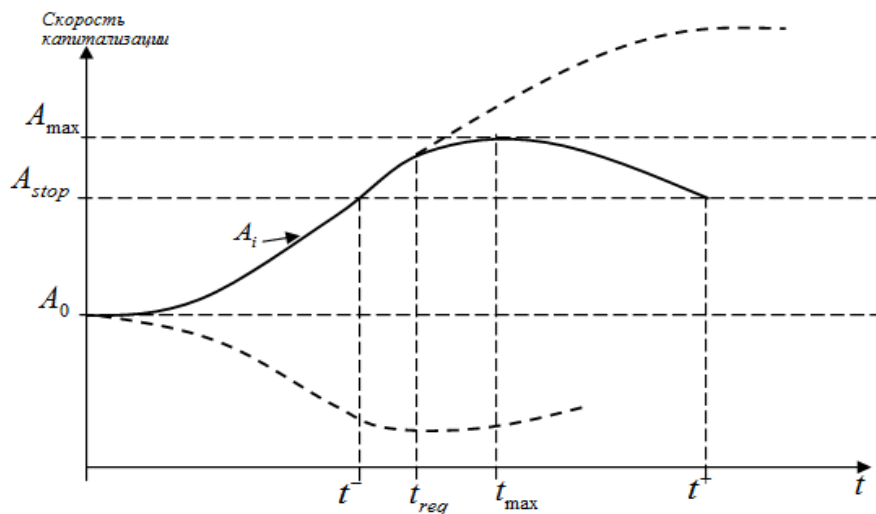


Рисунок 1 – Схема траектории изменения скорости капитализации МИП

A_0 – начальная скорость капитализации МИП; A_{\max} – максимальная достижимая скорость капитализации в текущей фазе развития. Динамика значения A_i во времени определяется структурой системно-динамической модели и значениями ее входных параметров $\{\bar{X}_i\}$, где $\bar{X}_i = (x_1, x_2, x_3)_i$ – начальные условия конкретного варианта моделирования, включающие: x_1 – затраты на единицу продукции; x_2 – размер средней заработной платы; x_3 – затраты на интеллектуальную собственность. Каждое x_* может быть представлено набором значений.

t_{\max} – время достижения A_{\max} ; t_{stop} – время останова вычислительного эксперимента ($t_{stop} > t_{\max}$), соответствующее $A_{stop} = k \cdot A_{\max}$, где k задаваемый параметр ($0 < k < 1$); t^-, t^+ – временные точки, в которых $A = A_{stop}$, причем $t^+ = t_{stop}$; t_{req} – искомая временная точка реструктуризации МИП.

$\bar{Y}_i = (A_{\max}, t_{\max}, t^-, t^+, Sp)_i$ – вектор результатов i -го вычислительного эксперимента, где Sp – площадь фигуры, ограниченной графиком скорости капитализации.

Разработанный метод включает два этапа (рисунок 2).

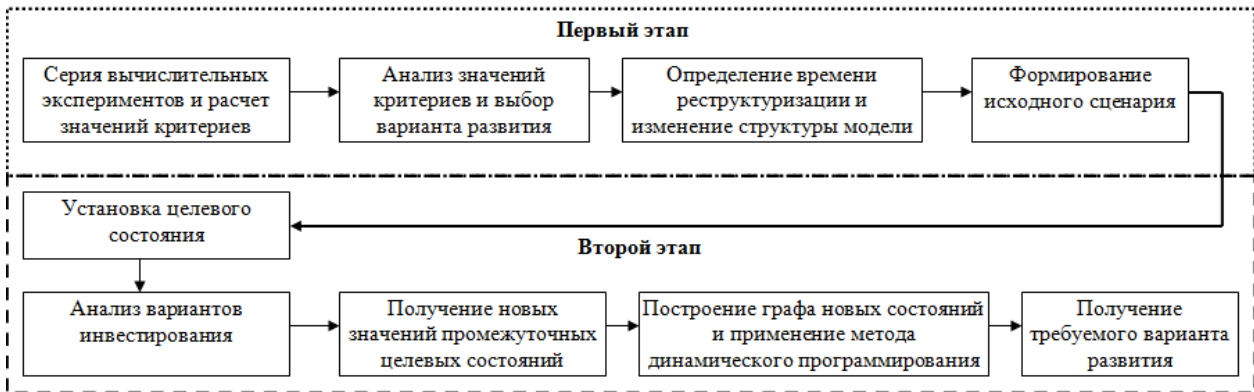


Рисунок 2 – Общий вид технологии информационной поддержки управления развитием МИП

Основной задачей первого этапа планирования является формирование и оценка с помощью имитационного моделирования вариантов развития МИП с целью определения момента реструктуризации (изменения организационной структуры). На втором этапе решается задача обратного планирования, заключающаяся в получении сценария развития предприятия по установленным предпочтениям достижения целевого (конечного) состояния A_g на момент времени окончания последней рассматриваемой фазы. Оба этапа могут реализовываться как экспертом-консультантом, так и ЛПР. Обязательным условием реализации метода является предварительное создание экспертом системно-динамической модели, обеспечивающей имитацию различных вариантов развития МИП. На рисунке 3 представлена упрощенная блок-схема первого этапа.

Для решения задачи определения момента изменения организационной структуры МИП используется метод главного критерия. В результате серии из N вычислительных экспериментов формируются связанные наборы входных и выходных данных: $\bar{X}_i \rightarrow \bar{Y}_i, i = \overline{1, N}$.

Элементы A_{\max}, t_{\max}, Sp вектора \bar{Y}_i нормируются: $Sp_i^{norm} = Sp_i / \max(Sp_i) |_{i=1, \dots, N}$, $A_{\max_i}^{norm} = A_{\max_i} / \max(A_{\max_i}) |_{i=1, \dots, N}$, $t_{\max_i}^{norm} = t_{\max_i} / \max(t_{\max_i}) |_{i=1, \dots, N}$, где $N = |\{x_1\}| * |\{x_2\}| * |\{x_3\}|$ – количество вариантов вычислительных экспериментов.

Расчет критериев Kr_i согласно формуле (1) по каждому имитируемому сценарию осуществляется с учетом заданных на основании предпочтения пользователя весов показателей ($0 < w_{es*} < 1$), которые характеризуют эффективное управление развитием МИП (1):

$$Kr_i = wes_1 \cdot Sp_i^{norm} + wes_2 \cdot A_{\max_i}^{norm} - wes_3 \cdot t_{\max_i}^{norm}, i = \overline{1, N} \quad (1)$$

Искомыми $\bar{X}_{req} = \bar{X}_j; \bar{Y}_{req} = \bar{Y}_j$ являются параметры и результаты j -го вычислительного эксперимента, для которого полученное значение критерия максимально: $Kr_j = Kr_{\max} = \max(Kr_i) |_{i=1, \dots, N}$.

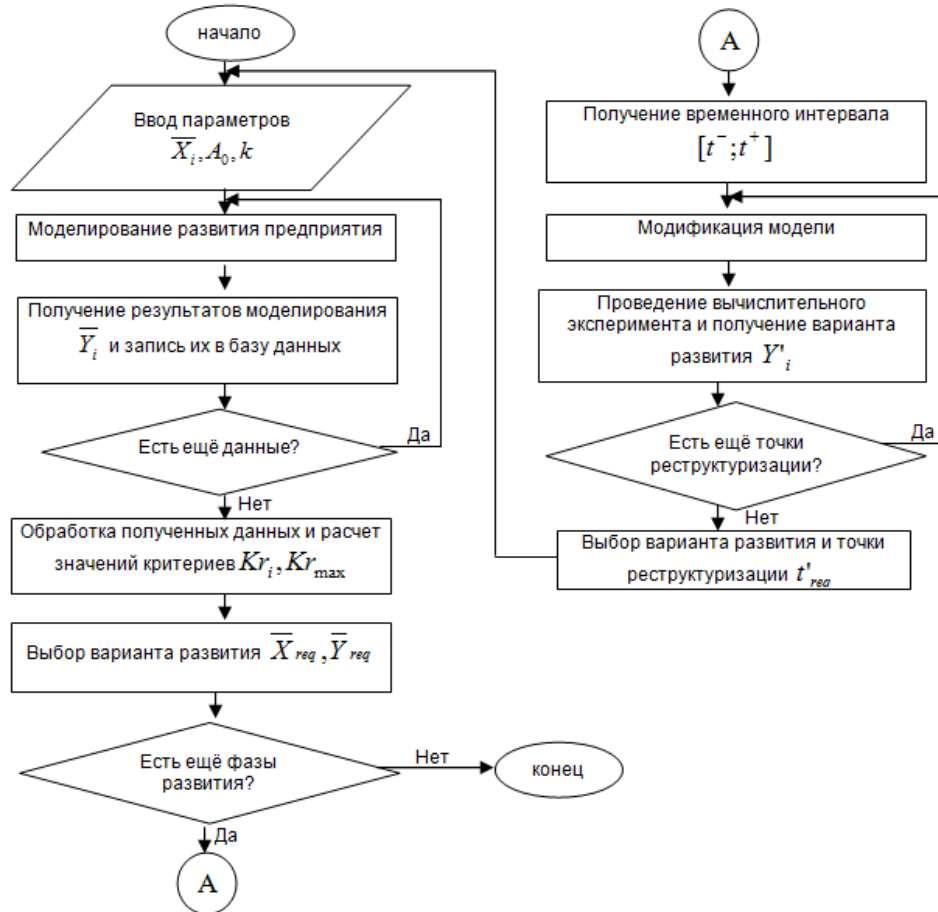


Рисунок 3 – Схема прямого планирования при управлении развитием МИП

Поиск на оси времени точки t_{req} эффективного перехода к следующей фазе развития МИП осуществляется путем проведения очередной серии имитационных экспериментов с учетом реструктуризации МИП в каждой точке $t_r \in [t^-; t^+]$, определяемой с некоторым шагом Δt . В результате расчета критериев для вновь полученных вариантов определяется искомая t_{req} .

При необходимости в точке t_{req} может быть задан новый набор значений \bar{X}' . Точка перехода к третьей фазе t'_{req} определяется по аналогичной схеме, но с изменением структуры и, возможно, параметров модели в точке t_{req} .

По завершению первого этапа разработанного метода формируется набор значений, включающий: начальные значения параметров для каждой из трех фаз развития МИП, временные точки реструктуризации и соответствующие им изменения структуры, а также конечное значение скорости капитализации МИП ($X_{req}, X'_{req}, X''_{req}, t_{req}, t'_{req}, A''_{stop}$). Данный набор определяет предпочтительный вариант развития МИП.

На втором этапе - этапе обратного планирования - основным «инструментом» достижения поставленной цели является инвестирование. Для определения оптимального (по Беллману) значения инвестиций, необходимых предприятию, система состояний представляется конечным взвешенным ориентированным графом Gr , вершины которого взаимно однозначно соответствуют состояниям системы (A_b), дуги – управлениям, определяемым набором параметров (\bar{X}_b), веса дуг w_b – стоимостям соответствующих переходов, которые рассчитываются по формуле (2):

$$w_b = \sum A_b - fond_b, fond_b \geq 0, b = \bar{1}, \bar{l}, \quad (2)$$

где $\sum A_b$ – суммарное значение капитализации предприятия в b -м имитационном эксперименте; $fond_b$ – соответствующие инвестиции, вложенные в данное предприятие, l – количество сценариев, приводящих к заданным состояниям.

Для определения искомой траектории развития предприятия, обеспечивающей достижение целевого состояния, на сформированном графе Gr определяется путь согласно принципу оптимальности Беллмана.

По представленной схеме сценарии строятся в «обратном» направлении от конечного целевого состояния до начала первой фазы развития МИП. Для каждой фазы производится выбор управлений для всех допустимых начальных состояний, которые могут возникнуть в результате предыдущих шагов. По достижении начального состояния фиксируются параметры системы и формируется сценарий развития предприятия в «прямом» направлении, приводящий к целевому состоянию.

Третья глава посвящена формированию комплекса программных средств, обеспечивающих реализацию математического аппарата разработанной технологии информационной поддержки управления развитием МИП.

На рисунке 4 представлена диаграмма вариантов использования (прецедентов) разрабатываемого программного комплекса.



Рисунок 4 – Диаграмма сценариев использования программного комплекса

Функциональный состав программного обеспечения определяется задачами, которые требуется решать в рамках разработанного метода информационной поддержки управления развитием МИП. Архитектура разработанного программного комплекса представлена на рисунке 5.

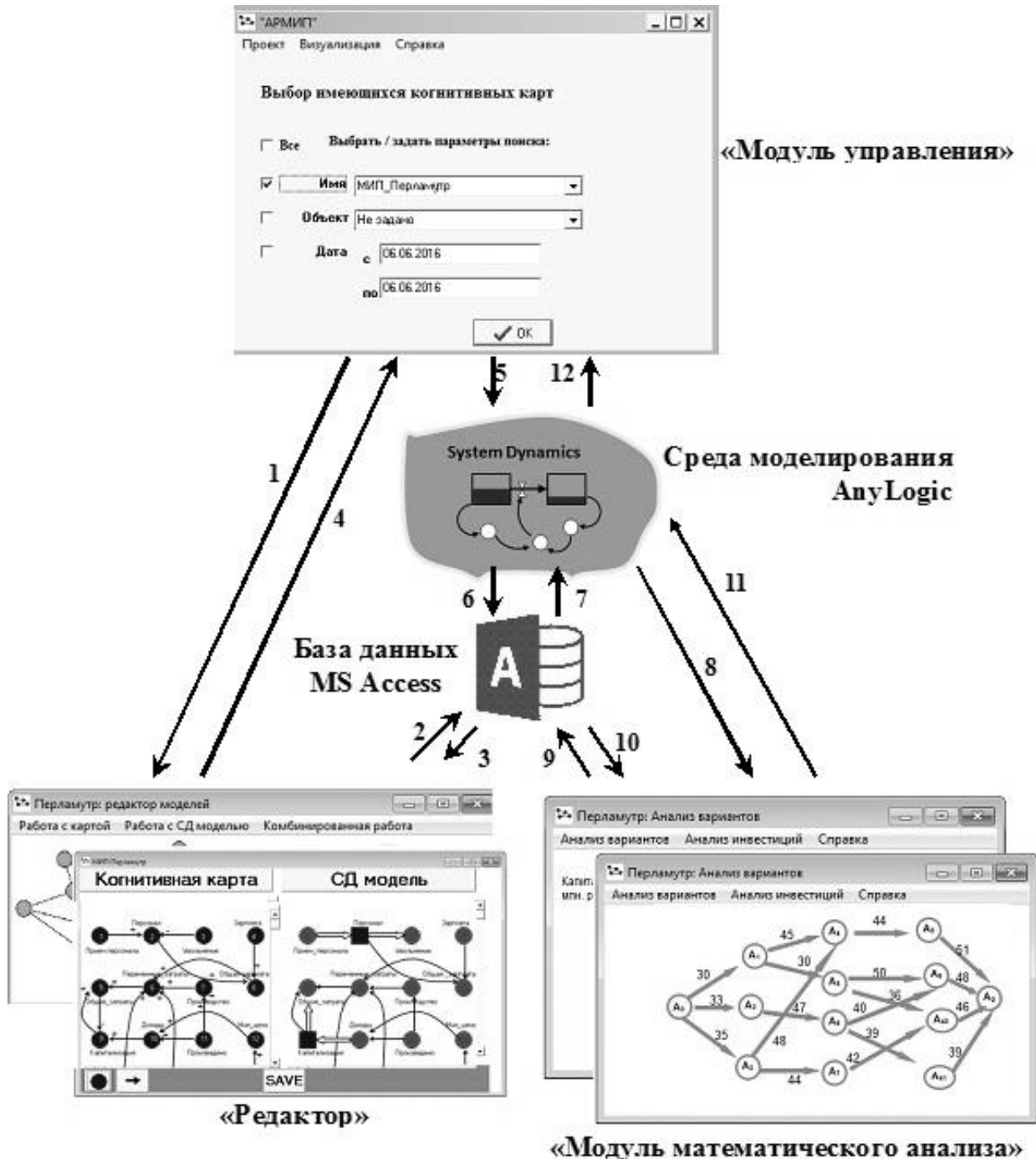


Рисунок 5 – Модульная архитектура программного комплекса

В состав комплекса входят следующие компоненты:

1. Для создания и исследования системно-динамической (СД) модели использован инструмент имитационного моделирования российской разработки AnyLogic 5.4. Выбор данного инструмента во многом обусловлен тем, что наряду с собственно реализацией системно-динамического и других видов

имитационного моделирования, данная среда позволяет пользователю расширять созданные модели с помощью языка Java, а также предоставляет встроенную поддержку различных типов баз данных.

2. Для хранения и обмена данными, полученными на разных этапах реализуемой технологии, используется СУБД Microsoft Access.

3. Формирование структур когнитивной карты МИП и соответствующей имитационной модели МИП осуществляется с использованием разработанного человеко-машинного интерфейса (графического редактора).

4. Модуль математического анализа результатов имитационных экспериментов и формирования рекомендаций по принятию решений реализован средствами C++ Builder.

5. Модуль управления программным комплексом, который организует взаимодействие пользователя с другими модулями и разграничивает права доступа, реализован средствами C++ Builder.

Среди представленных компонентов "Модуль управления", "Редактор" и "Модуль математического анализа" были разработаны автором диссертационного исследования самостоятельно и являются оригинальными решениями для задачи поддержки управления развитием МИП.

Порядок полного цикла работы с программным комплексом определяется последовательностью взаимодействия входящих в его состав компонентов, показанной стрелками на рисунке 5:

1 – Вызов редактора создания и/или редактирования когнитивной карты и/или структуры системно-динамической модели.

2 – Сохранение данных о когнитивной карте и/или структуре СД модели.

3 – Загрузка когнитивной карты и/или структуры СД модели.

4 – Возврат в модуль управления.

5 – Загрузка из БД структуры необходимой пользователю системно-динамической модели для ее дальнейшей параметризации или модификации.

6 – Сохранение данных о параметрах системно-динамической модели.

7 – Загрузка существующей параметризованной СД модели в модуль системно-динамического моделирования.

8 – Вызов "Модуля математического анализа" для реализации "прямого" и "обратного" планирования с использованием денных имитационных экспериментов.

9 – Запись в БД посредством соответствующих SQL запросов.

10 – Загрузка сохраненных расчетных данных в "Модуль математического анализа".

11 – Загрузка входных параметров модели и данных о временных точках структурных изменений на каждой фазе развития предприятия либо загрузка параметров схемы эффективного инвестирования в среду моделирования. Пользователь получает возможность графической визуализации результатов "прямого" и "обратного" планирования для выработки управленческого решения.

12 – Завершение текущего сеанса работы с комплексом.

Для реализации процедур прямого и обратного планирования необходимо иметь имитационную модель МИП (*.alp), создание которой начинается с построения концептуальной модели. В рамках настоящей работы концептуальная

модель формируется в виде когнитивной карты (ориентированного графа) функционирования МИП.

Когнитивная карта задается в виде кортежа $KognM = \langle G, F \rangle$, в котором:

$$1) G = \langle V, E \rangle, V = \{v_i \mid v_i \in V, i = 1, 2, \dots, M\}, E = \{e_i \mid e_i \in E, i = 1, 2, \dots, P\}, \quad (3)$$

где G – ориентированный граф, V – множество вершин («концептов»), E – множество дуг, M – количество вершин, P – количество дуг.

Вершины $V_i \in V, i = 1, 2, \dots, M$ представляют элементы изучаемой системы.

Дуги $e_{ij} \in E, (i, j = 1, 2, \dots, P)$ отражают взаимосвязь между вершинами V_i и V_j .

$$2) F = F(V, E) = F(v_i, v_j, e_{ij}),$$

где F – функционал преобразования дуг, ставящий в соответствие каждой дуге знак ("+", "-").

$$F(V, E) = \begin{cases} +1, & \text{если увеличение(уменьшение) значения } v_i \\ & \text{приводит к увеличению(уменьшению) значения } v_j \\ -1, & \text{если увеличение(уменьшение) значения } v_i \\ & \text{приводит к уменьшению (увеличению) значения } v_j \end{cases}, i, j = 1, 2, \dots, M; i \neq j \quad (4)$$

Для интерактивного формирования когнитивной карты, описываемой формулами (3), (4), и ее отображения на структуру системно-динамической модели разработан специализированный человеко-машинный интерфейс (графический редактор). Средствами редактора реализуется формальная итерационная схема указанного отображения, основанная на комплексе правил соотнесения элементов когнитивной карты с элементами СД модели («Редактор» на рисунке 5). В среде AnyLogic элементы СД модели задаются следующим набором множеств: $\{S, Fl, Var, C, R\}$, где S – множество накопителей, которые представляют собой значения переменных, накопленные в результате разности между входящими и исходящими потоками (например, «персонал», изменяемый за счет приема и увольнения работников), Fl – множество потоков, Var – множество переменных, C – множество констант, R – множество информационных связей.

Узлы исходной когнитивной карты V_i^0 отражают обобщенные понятия реального мира, которым соответствует некоторый определяемый количественно объем определенных ресурсов. В системно-динамической модели они будут представлять собой предполагаемые накопители: $V^0 \rightarrow S$.

Динамика значений накопителей определяется в СД модели входящими в них и исходящими из них потоками. Достаточно очевидным представляется отобразить каждую связь исходной когнитивной карты (ИКК) $e_{i,j}^0$ на соответствующие потоки Fl^+ и Fl^- , с каждым из которых связан определенный фактор, который выступает в качестве «регулятора» потока. В когнитивной карте они будут представлены вершинами следующего уровня: V_i^{1+}, V_i^{1-} . Однако количественные характеристики самих «регуляторов» потоков, как правило, зависят от определенных факторов, не учтенных в ИКК. Включение этих факторов в когнитивную карту приводит к появлению в ней дополнительных вершин и связей $(e_{i,j}^0 \rightarrow V_{i,j}^1, e_{i,(i,j)}^1, e_{(i,j),j}^1)$. Процесс уточнения ИКК и порождения

соответствующих элементов СД модели, как правило, носит итерационный характер.

При этом необходимо учитывать, что на будущие потоки могут влиять как новые переменные, так и существующие потоки, а также рассмотренные ранее накопители:

1. Если имеющийся поток относится к нескольким накопителям, то преобразование примет вид: $e_{i,j}^0 \rightarrow V_{i,j}^1, e_{i,(i,j)}^1, e_{(i,j),j}^1$ (рисунок 6). При этом согласно формуле (4), тип потока будет определяться следующим образом:

$$\text{If } F(e_{i,(i,j)}^1, V_{i,j}^1) = -1 \text{ then } (e_{i,(i,j)}^1, V_{i,j}^1) \rightarrow FI^-; \quad \text{If } F(V_{i,j}^1, e_{(i,j),j}^1) = +1 \text{ then } (V_{i,j}^1, e_{(i,j),j}^1) \rightarrow FI^+ .$$

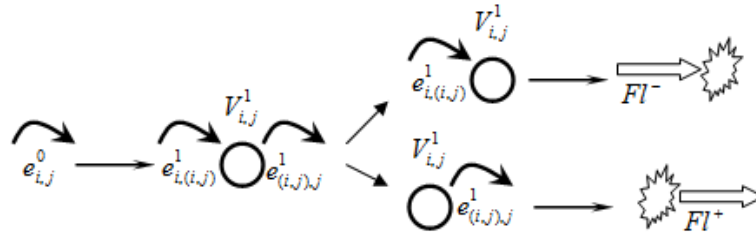


Рисунок 6 – Схема преобразования связи и отображения ее на соответствующие потоки

2. Если на поток влияют другие потоки через информационные связи: $e_{i,j}^1 \rightarrow R_{i,j}^1$.

3. Если на поток влияют факторы, не относящиеся ни к потокам, ни к накопителям, определенным ранее, возможны два случая:

a. $V_i^2 \rightarrow Var$, если рассматриваемый фактор будет переменным;

b. $V_i^2 \rightarrow C$, если значение рассматриваемого фактора постоянно в рамках рассматриваемого сценария.

В ходе дальнейшего анализа может возникнуть ситуация, когда изначально рассматриваемая вершина ИКК, отнесенная к накопителям, не имеет входных и выходных потоков в СД модели. В таком случае, эта вершина преобразуется в переменную: $V_i^0 \rightarrow Var$. Оставшиеся в когнитивной карте дуги преобразуются в информационные связи: $e_{i,j}^k \rightarrow R_{i,j}^{k+1}$.

Синтезированная структура имитационной СД модели отражает основные материальные и информационные связи между элементами изучаемой системы. Накопители СД модели (персонал, капитализация предприятия и другие) отражают понятия реального мира, которым соответствует некоторый определяемый количественно объем ресурсов. Динамика значений накопителей определяется входящими в них и исходящими из них потоками (интенсивность прироста кадров, интенсивность увольнения, общие расходы и другие). Неизменяемые элементы системы представляются константам (коэффициент выгоды, коэффициент изменения финансирования на НИОКР и другие), а остальные показатели - переменными (затраты на производство, налоги и другие). Данные о структурах когнитивной карты и СД модели, а также параметры СД модели передаются для хранения в базу данных (стрелки 2, 6 на рисунке 5).

Модуль математического анализа результатов имитационных экспериментов и формирования рекомендаций по принятию решений включает в себя процедуры

взаимодействия с БД, два блока обработки данных и средства графического представления результатов.

Первый блок – блок расчета значений критериев и сравнительного анализа рассмотренных в ходе имитации вариантов развития МИП (работает на первом этапе планирования). В результате работы этого блока для каждой фазы развития определяется момент времени проведения структурной реорганизации МИП для выбранного варианта развития предприятия. Путем объединения выбранных сценариев отдельных фаз, формируется набор данных, характеризующих предпочтительный сценарий развития МИП на всем временном интервале планирования с указанием точек реорганизации.

Второй блок работает на этапе обратного планирования и реализует расчет и анализ вариантов инвестирования, позволяющий определить для каждой фазы развития МИП возможные наборы состояний, прохождение которых обеспечивает достижение задаваемых целевых показателей из имеющегося начального состояния МИП. При этом для каждого возможного перехода между состояниями, относящимися к разным фазам развития, рассчитывается весовая функция w_b . На основе полученных данных методом динамического программирования определяется оптимальный вариант развития предприятия. Оптимальным считается вариант, которому соответствует максимальная сумма весов переходов, образующих траекторию развития. Итоговый сценарий описывается набором данных, включающих: информацию о целевом состоянии и начальных условиях моделирования, о сумме и времени инвестирования в каждой фазе, а также временные точки реорганизации предприятия.

Результаты имитационного моделирования и их анализа, а также данные, порождаемые в процессе работы блока расчета и анализа инвестирования, записываются в реляционную базу данных (стрелки 6 и 9 на рисунке 5). К долговременно хранимым данным программного комплекса относятся данные когнитивных карт и структуры соответствующих СД моделей. Также предусмотрена возможность хранения экземпляров параметризованных СД моделей. Различные данные, порождаемые в результате имитационных экспериментов и их последующей обработки, имеют разное время жизни. Данные по значениям критериев хранятся до следующего сеанса моделирования, а исходные условия и результаты варианта развития A_j , при котором $Kr_j = Kr_{\max} = \max(Kr_i) |_{i=1, \dots, N}$, – до получения значений критериев следующей фазы развития МИП. Использование БД для хранения всех данных программного комплекса обеспечивает механизмы обмена данными между его компонентами («Редактор», «Модуль математического анализа результатов», «Имитационная модель»).

В разработанной версии комплекса программных средств для хранения данных использована СУБД Microsoft Access. Организация связей базы данных с имитационной моделью в среде AnyLogic, а также модулями, реализованными в C++ Builder, производится стандартными драйверами ODBC и компонентами (TDataSource, TDataSet, TQuery и другие).

В **четвертой** главе представлено применение разработанного программного комплекса для поддержки управления развитием предприятия, реализующего инновационную технологию производства перламутрового пигмента. С помощью

разработанного программного комплекса решалась задача определения вариантов структурных преобразований предприятия в процессе создания экспериментального оборудования и последующего перехода к промышленному производству инновационной продукции.

Этап экспериментального производства предполагает работу оборудования в периодическом режиме в течение не более 5-8 месяцев, а с учетом подбора и изготовления оборудования, его монтажа и вывода на стабильные показатели работы – 1,5-2 года. Общая производительность установки составит 1-1,5т перламутрового пигмента в месяц.

Синтезированная в соответствии с когнитивной картой структура системно-динамической модели рассматриваемого предприятия представлена на рисунке 7.



Рисунок 7 – Структура системно-динамической модели МИП по производству перламутрового пигмента

Затраты времени на создание экспертом-консультантом системно-динамической модели, соответствующей разработанной когнитивной карте МИП, с использованием разработанного человеко-машинного интерфейса составили примерно 3 часа. Оценочное время на формирование аналогичной модели без использования инструментов автоматизированного отображения когнитивной карты на структуру системно-динамической модели составляет от 10 до 15 часов.

При работе с комплексом ЛПР в качестве целевого состояния было задано значение капитализации предприятия в размере 73 млн. руб., а также установлено ограничение на объем инвестиций (не более 15 млн. руб.) с шагом инвестирования в 5 млн. руб.

Определив для каждой фазы развития возможные наборы состояний, прохождение которых обеспечивает достижение целевых показателей, представляем полученную систему состояний ориентированным графом, где вершины – состояния системы, дуги – управления, а веса дуг рассчитываются по формуле (2).

Применение метода динамического программирования и расчет значений функции Беллмана для каждой промежуточной вершины, а также проведение синтеза оптимальной траектории системы позволяет определить траекторию развития предприятия с наибольшей отдачей при низком инвестировании.

Распределение весовых коэффициентов для каждой фазы представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение весовых коэффициентов

Переход	Весовые коэффициенты	Переход	Весовые коэффициенты	Переход	Весовые коэффициенты
$x_0 \rightarrow x_1$	$w_{0,1} = 33$	$x_3 \rightarrow x_4$	$w_{3,4} = 48$	$x_6 \rightarrow x_{11}$	$w_{6,11} = 39$
$x_0 \rightarrow x_2$	$w_{0,2} = 30$	$x_3 \rightarrow x_7$	$w_{3,7} = 53$	$x_7 \rightarrow x_{10}$	$w_{7,10} = 42$
$x_0 \rightarrow x_3$	$w_{0,3} = 35$	$x_4 \rightarrow x_8$	$w_{4,8} = 44$	$x_8 \rightarrow x_{кон.}$	$w_{8,кон.} = 51$
$x_1 \rightarrow x_4$	$w_{1,4} = 45$	$x_5 \rightarrow x_9$	$w_{5,9} = 50$	$x_9 \rightarrow x_{кон.}$	$w_{9,кон.} = 48$
$x_1 \rightarrow x_5$	$w_{1,5} = 30$	$x_5 \rightarrow x_{10}$	$w_{5,10} = 36$	$x_{10} \rightarrow x_{кон.}$	$w_{10,кон.} = 46$
$x_2 \rightarrow x_6$	$w_{2,6} = 47$	$x_6 \rightarrow x_9$	$w_{6,9} = 40$	$x_{11} \rightarrow x_{кон.}$	$w_{11,кон.} = 39$

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о необходимости привлечения инвестиций в размере 14 млн. руб. при запуске предприятия (переход на графе $x_0 \rightarrow x_3$). Следующее инвестирование (10 млн. руб.) планируется проводить через 6 мес. работы предприятия (переход $x_3 \rightarrow x_4$), при этом затраты на заработную плату и интеллектуальную собственность необходимо сохранять на первоначальном уровне, а цену на 1 изделие поднять до максимально возможного значения. Следующий переход $x_4 \rightarrow x_8$ с весовым коэффициентом $w_{4,8} = 44$ при увеличении затрат на интеллектуальную собственность сопровождается инвестированием в размере 12 млн. через 18 мес. Достижение целевого состояния происходит при переходе $x_8 \rightarrow x_{max}$, когда все входные параметры принимают максимальное значение, а инвестирование в размере 14 млн. производится через 18 мес. График необходимого инвестирования представлен на рисунке 8.

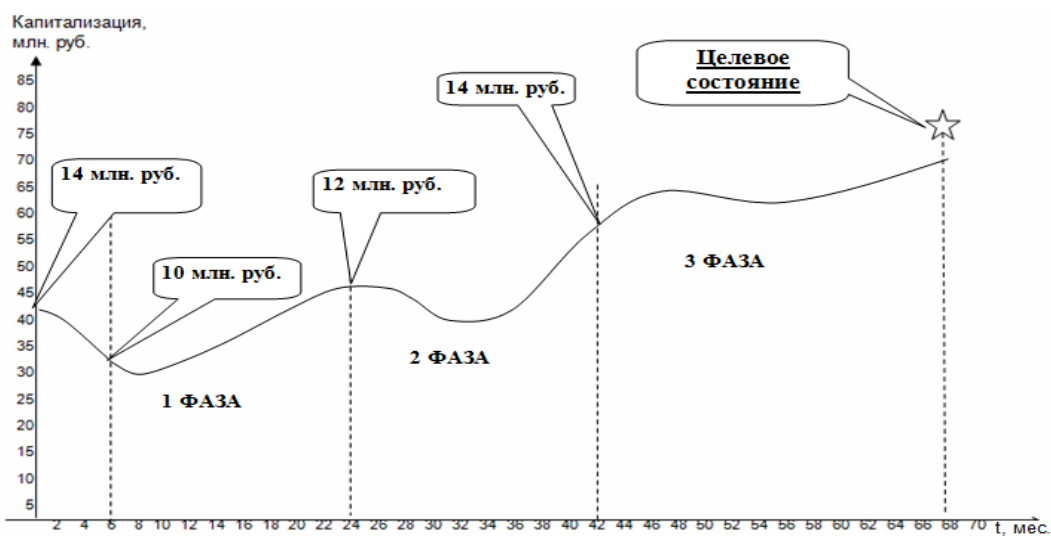


Рисунок 8 – График необходимого инвестирования для достижения целевого состояния

Для получения результатов ЛПР был проведен 91 вычислительный эксперимент на первом этапе планирования и 164 на втором. При этом общее время работы программного комплекса в режиме работы ЛПР составило порядка 2-х часов. Рассмотрение такого количества вариантов без использования разработанной системы практически невозможно, так как на расчет одного варианта без входящих в систему программ требуется порядка 3-4 часов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе содержится решение научно-технической задачи создания метода и программно-инструментальных средств, обеспечивающих повышение эффективности управления развитием малых инновационных предприятий. В ходе исследования получены следующие результаты:

1. Разработаны метод и технология информационной поддержки процессов управления развитием малых инновационных предприятий, позволяющие повысить эффективность принятия решений за счет последовательного решения задач прямого и обратного планирования вариантов развития МИП.
2. Определена архитектура программного комплекса, объединяющего оригинальные модули решения задач формирования моделей МИП и обработки результатов имитационных экспериментов с инструментальными средствами системно-динамического моделирования и организации хранения данных. Программный комплекс обеспечивает поддержку деятельности двух категорий пользователей – эксперта, формирующего модели для имитационных экспериментов, и ЛПР, использующего имитационное моделирование для выработки решений по управлению развитием МИП.
3. Создана модель формального отображения структуры когнитивных карт на структуры системно-динамических моделей, использующая разработанную систему логических правил сопоставления компонентов когнитивной карты и системно-динамической модели. На основе модели реализован человеко-машинный интерфейс, позволяющий сформировать и визуализировать согласованные структуры когнитивной и системно-динамической моделей.
4. Созданы алгоритмы и комплекс программных средств, реализующих разработанную технологию путем запуска программных модулей, обеспечивающих последовательное решение задач формирования имитационных моделей МИП и проведения серий имитационных экспериментов, позволяющих определить параметры эффективного развития МИП с учетом предпочтений лица, принимающего решения.

Аспекты научной новизны соответствуют областям исследований п.3 «Модели, методы, алгоритмы, языки и программные инструменты для организации взаимодействия программ и программных систем» и п.7 «Человеко-машинные интерфейсы; модели, методы, алгоритмы и программные средства машинной графики, визуализации, обработки изображений, систем виртуальной реальности, мультимедийного общения» специальности 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

Перспективными задачами исследования является разработка математического аппарата и реализация дополнительного блока "Модуля математического анализа",

обеспечивающего процедуры автоматизированного исключения из дальнейшей обработки заведомо неэффективных вариантов развития МИП по задаваемым пользователем критериям.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

В рецензируемых журналах из списка ВАК

1. Халиуллина, Д.Н. Проблемно-ориентированный программный комплекс поддержки стратегического планирования развития малых инновационных предприятий / Д.Н. Халиуллина // Труды СПИИРАН. – 2016. – № 3(46). – С.190-211.
2. Богатиков, В.Н. Имитационное моделирование в задачах перспективного планирования (на примере инновационного предприятия) / В.Н. Богатиков, А.В. Горохов, Д.Н. Халиуллина // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Экономика и управление. – 2014. – №1(20). – С. 5-12.
3. Халиуллина, Д.Н. Технология и инструментальная система информационной поддержки стратегического планирования развития малого научно-инновационного предприятия / Д.Н. Халиуллина, А.В. Маслобоев // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. Мурманск: МГТУ. – 2011. – Т. 14. – №3. – С. 611-620.
4. Малыгина, С.Н. Разработка системы имитационного моделирования развития малого и среднего промышленного предприятия / С.Н. Малыгина, Д.Н. Абалымова (Халиуллина) // Прикладные проблемы управления макросистемами, Труды Института системного анализа Российской академии наук (ИСА РАН). – 2008. – Т. 39. – С.256-262.

В других изданиях

5. Абалымова (Халиуллина), Д.Н. Поддержка принятия управленческих решений на малом и среднем промышленном предприятии на базе имитационного моделирования / Д.Н. Абалымова // Сборник научных трудов под редакцией профессора, д.т.н. В.А. Путилова, выпуск VIII «Информационные технологии в региональном развитии». Изд-во КНЦ РАН. – 2008. – С. 39-44.
6. Абалымова (Халиуллина), Д.Н., Информационная технология поддержки управления научно-инновационным предприятием / Д.Н. Абалымова, А.В. Марков // III-я Всероссийская научная конференция "Теория и практика системной динамики" (30 марта - 2 апреля 2009 г.). Труды конф. – Апатиты, КНЦ РАН. – 2009. – С. 76-79.
7. Абалымова (Халиуллина), Д.Н. Инструментальная система поддержки принятия решений по управлению малым и средним промышленным предприятием / Д.Н. Абалымова // Труды XI Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (22-24 июня 2009г.). Изд-во Самарского научного центра РАН. – 2009. – С. 509-514.
8. Abalymova (Халиуллина), D.N. Simulation-based management of development for industrial enterprise / D.N. Abalymova, A.V. Gorokhov // Journal of International Scientific Publication: Economy & Business, Volume 3, Part 2 (1-5 September 2009, Burgas, Bulgaria) - 1 электрон, опт. диск (CD-ROM). – 2009. – Р. 44-54.
9. Халиуллина, Д.Н. Моделирование развития промышленного предприятия на основе системной динамики / Д.Н. Халиуллина, В.В. Быстров, А.В. Марков // Четвертая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика», Сборник докладов (21-23 октября 2009г., Санкт-Петербург). Изд-во ОАО «Центр технологии судостроения и судоремонта». – 2009. – Т. 2. – С. 271-275.
10. Халиуллина, Д.Н. Технология управления развитием научно-инновационного предприятия / Д.Н. Халиуллина // Сборник научных трудов под

- редакцией профессора, д.т.н. В.А. Путилова, выпуск IX «Информационные технологии в региональном развитии». Изд-во КНЦ РАН. – 2009. – С. 36-38.
11. Халиуллина, Д.Н. Информационная технология поддержки стратегического планирования развития научно-инновационного предприятия / Д.Н. Халиуллина // Прикладные проблемы управления макросистемами: VIII Всерос. школа-семинар, (29 марта-2 апреля 2010г.). Материалы докладов. – Апатиты, КНЦ РАН. – 2010. – С.78.
12. Халиуллина, Д.Н. Имитационная модель малого инновационного предприятия / Д.Н. Халиуллина // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии / под ред. Путилова В.А. Изд-во КНЦ РАН. – 2010. – С. 67-69.
13. Быстров, В.В. Информационная инфраструктура управления безопасностью развития арктических регионов / В.В. Быстров, А.В. Горохов, С.Н. Малыгина, Д.Н. Халиуллина // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Под ред. Путилова В.А. Изд-во КНЦ РАН. – 2010. – Вып. 2. – С. 147-150.
14. Горохов, А.В. Имитационное моделирование развития научно-инновационного предприятия / А.В. Горохов, Д.Н. Халиуллина // Пятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика», Труды конференции. Изд-во ОАО «Центр технологии судостроения и судоремонта». – 2011. – Т. 1. – С. 124-128.
15. Халиуллина, Д.Н. Технология управления инновационным инвестированием научно-инновационного предприятия / Д.Н. Халиуллина // Наука сегодня: теоретические аспекты и практика применения: сб. науч. тр. по мат-лам Междунар. заоч. науч.-практ. конф. 28 октября 2011г.: в 9 частях.; М-во обр. и науки РФ. Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество». – 2011. – Ч. 4. – С.137-139.
16. Горохов, А.В. Информационная технология управления инвестиционной политикой сети инновационных предприятий / А.В. Горохов, К.И. Иванов, Д.Н. Халиуллина // Вестник Кольского научного центра. Изд-во КНЦ РАН. – 2011. – С.81-88.
17. Халиуллина, Д.Н. Технология управления финансовыми вложениями в инновационном предприятии //Труды Кольского научного центра РАН. 4/2012(11). Информационные технологии. Изд-во КНЦ РАН. – 2012. – Вып.3. – С.202-206.
18. Богатиков, В.Н. Когнитивная модель развития инновационного предприятия как сложной динамической системы / В.Н. Богатиков, Д.Н. Халиуллина // Materiály IX mezinárodní vědecko - praktická conference «Moderní vymoženosti vědy – 2013». Technické vědy: Praha. Publishing House «Education and Science». – 2013. – Díl 78. – С. 63-71.
19. Халиуллина, Д.Н. Информационная технология оценки динамики достижения цели на этапах стратегического планирования развития малого инновационного предприятия на основе применения метода когнитивного моделирования /Д.Н. Халиуллина, В.Н. Богатиков, А.В. Горохов // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. Вып. 4. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. – 2013. –№5 (18). – С.199-207.

Подписано к печати __. __.2016
Объем 1,25 печ. л. Тираж 100 экз.
Отпечатано в _____