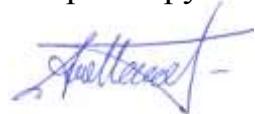


РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки**  
**Институт информатики и математического моделирования**  
**технологических процессов**

На правах рукописи



**Маслобоев Андрей Владимирович**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ  
ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ  
БЕЗОПАСНОСТЬЮ (НА ПРИМЕРЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Специальность 05.13.10 –

«Управление в социальных и экономических системах» (технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Научный консультант -  
Заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор  
Путилов Владимир Александрович

Апатиты – 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
ГЛАВА 1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ .....	25
1.1. Общая характеристика проблемы управления безопасностью региональных социально-экономических систем .....	25
1.2. Специфика и структура задач информационной поддержки управления региональной безопасностью .....	36
1.3. Современные средства и технологии информационной поддержки управления региональной безопасностью .....	54
1.4. Постановка проблемы сетецентрического управления региональной безопасностью .....	62
Выводы.....	64
ГЛАВА 2. РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ .....	66
2.1. Методология исследования и решения проблемы сетецентрического управления региональной безопасностью .....	66
2.2. Интегрированная концептуальная модель мультиагентной информационно-аналитической среды региональной безопасности .....	78
2.2.1. Состав модели .....	78
2.2.2. Структура модели .....	82
2.3. Базовая системно-динамическая модель управления региональной безопасностью .....	87
2.4. Моделирование многоуровневых распределенных систем сетецентрического управления региональной безопасностью .....	93
2.4.1. Многоуровневая рекуррентная иерархическая модель управления региональной безопасностью.....	94
2.4.2. Координация сетецентрического управления региональной безопасностью на базе рекуррентной модели .....	102
Выводы.....	115

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ФОРМИРОВАНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ .....	117
3.1. Метод автоматизированного синтеза виртуальных организационных структур управления региональной безопасностью .....	117
3.1.1. Постановка задачи синтеза ВОСБ .....	119
3.1.2. Общая характеристика метода .....	124
3.1.3. Процедуры синтеза ВОСБ .....	126
3.2. Метод формирования и комплексной оценки интегрального показателя региональной безопасности .....	135
3.2.1. Структура метода .....	135
3.2.2. Модель интегрального показателя рискоустойчивого развития региона ..	139
3.3. Мультиагентная технология информационной поддержки управления региональной безопасностью .....	147
3.3.1. Мультиагентная виртуализация процессов управления региональной безопасностью .....	147
3.3.2. Архитектура и способы реализации когнитивных агентов с имитационным аппаратом .....	159
3.3.4. Технология формирования спецификаций мультиагентной среды имитационного моделирования задач управления безопасностью региона .....	171
3.4. Средства поддержки функционирования мультиагентной виртуальной среды региональной безопасности .....	173
3.4.1. Распределенная агентная платформа для интеграции компонентов информационной среды региональной безопасности .....	173
3.4.2. Методы организации функционирования мультиагентной информационной среды региональной безопасности .....	177
Выводы .....	179
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ И КОМПОНЕНТОВ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ .....	181
4.1. Архитектура виртуальной среды региональной безопасности .....	181

4.2. Технология динамического формирования и конфигурирования мультиагентной виртуальной среды региональной безопасности .....	192
4.3. Программные средства информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью .....	198
4.4. Мультипредметные веб-ориентированные системы информационного обеспечения региональной безопасности .....	209
4.5. Структура и состав виртуальных когнитивных центров управления региональной безопасностью .....	215
Выводы.....	218
<b>ГЛАВА 5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ .....</b>	<b>220</b>
5.1. Оценка экономической безопасности развития моногородов арктических регионов России .....	221
5.2. Модели и программные средства информационной поддержки управления инновационной безопасностью региональной экономики.....	233
5.3. Информационное обеспечение кадровой безопасности региона .....	245
5.4. Информационные модели для поддержки управления экологической безопасностью арктических коммуникаций .....	255
5.5. Технико-экономическое обоснование информационной среды региональной безопасности.....	258
Выводы.....	260
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>262</b>
<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ .....</b>	<b>267</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>268</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>288</b>
А. Перечень показателей региональной безопасности .....	288
Б. Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ .....	294
В. Акты внедрения.....	299

## ВВЕДЕНИЕ

### *Общая характеристика работы*

Современное геополитическое и социально-экономическое положение Российской Федерации обуславливает ряд проблем внешнего и внутреннего характера, касающихся обеспечения безопасности в различных сферах и уровнях организации общества. Особую значимость эти проблемы приобретают для арктических регионов. Под безопасностью, в общем случае, понимаются состояние и тенденции развития защищенности жизненно важных интересов общества и его структур от внешних и внутренних угроз.

В условиях активного геостратегического переустройства мира и борьбы мировых центров силы за контроль над ресурсами (территориальными, природными, кадровыми, информационными и т.д.) проблема формирования новой системы обеспечения региональной безопасности в Арктической зоне Российской Федерации (АЗ РФ) становится все более актуальной. Основная задача этой системы – повышение эффективности децентрализованного управления безопасностью региона в динамически изменяющихся условиях.

Решение данной задачи во многом затрудняется необходимостью интеграции, обработки и анализа больших объемов семантически и организационно разнородной информации для информационного обеспечения деятельности различных ведомств (субъектов безопасности), координации взаимодействия между ними, а также поддержки принятия решений на разных уровнях управления.

В связи с этим, одним из приоритетных направлений государственной политики РФ в Арктике, согласно «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» [147], является развитие сферы информационных технологий и связи. Реализация арктической стратегии по данному направлению предполагает создание современной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры для поддержки управления региональной безопасностью в АЗ РФ.

Анализ мер, осуществляемых по развитию сферы компьютерных технологий для задач информационного обеспечения управления безопасностью арктических регионов, свидетельствует о том, что эффективность этих мер существенно снижается отсутствием целостной информационной среды (инфраструктуры) региональной

безопасности. Использование такой среды позволяет повысить оперативность, достоверность и качество выдаваемой информации об обстановке в АЗ РФ для принятия оперативных и стратегических управлеченческих решений.

*Информационная среда региональной безопасности* представляет собой комплекс взаимоувязанных и взаимодействующих проблемно-ориентированных информационных систем, исполнительных ресурсов, средств информационно-аналитической поддержки, а также технологическую и организационную инфраструктуру их создания и использования.

Ввиду разнородности и динамичности структуры и состава этой среды информационная поддержка и координация деятельности субъектов управления безопасностью с учетом различных ограничений (технологических, функциональных, организационных, правовых и т.д.) представляется сложной проблемой, требующей научной проработки и комплексного решения. Вместе с тем, специфики добавляет децентрализованный характер управления региональной безопасностью. Это требует построения сетевоцентрической информационной среды. Сетевоцентричность предполагает сетевую структуру организационного управления с выделенными управляющими центрами, взаимодействие между которыми осуществляется на базе их интеграции в единое информационное пространство.

Актуальность и высокая значимость настоящего исследования для экономики и обороноспособности страны подтверждается принятием следующих постановлений Правительства РФ:

- «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу» (утверждено Указом Президента РФ 18.09.2008 г. Пр-1969) [107];
- «Стратегия национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года» (утверждено Указом Президента РФ 12.05.2009 г. №537) [146];
- «Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» (утверждено Указом Президента РФ 20.02.2013 г., Пр-232) [147];
- Государственная программа РФ «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года» (утверждено Председателем Правительства РФ 21.04.2014 г., ПП-№ 366) [27].

Научная картина исследуемой проблемы и разработки, представленные в диссертации, сформировались в основном на базе научных работ К. Аберера, Р. Блинка, В.Н. Буркова, А.А. Быкова, В.Ф. Венды, В.А. Виттиха, М. Вулдриджа, Д. Гарланда, В.И. Городецкого, А.Г. Гранберга, С.А. Делоча, Н. Дженнингса, Н. Джонса, С.В. Емельянова, М. Журовского, В.П. Заболотского, В.В. Кульбы, О.И. Ларичева, Г.Г. Малинецкого, С. Марша, Н.А. Махутова, Д. Медоуз, М. Месаровича, Н.Н. Моисеева, Д.А. Новикова, В.В. Новожилова, В.В. Окрепилова, Г.С. Осипова, Ю.Н. Павловского, Ю.С. Попкова, Р. Поппера, Б.Н. Порфириева, Д.А. Поспелова, И.Г. Поспелова, В.А. Путилова, Г.В. Рыбиной, И.А. Рябинина, Н.А. Северцева, А.В. Смирнова, А.И. Смирнова, В.В. Фильчакова, Дж. Форрестера, В.Ф. Хорошевского, В.Н. Цыгичко, В.Л. Шульца, М. Эндслея, Р.М. Юсупова и других.

Анализ современных отечественных и зарубежных научных работ в области создания методического обеспечения для управления безопасностью региональных социально-экономических систем (РСЭС) показывает, что, наряду с существующими достижениями в этой сфере, недостаточно разработаны методологические подходы к формализации и решению задач информационной поддержки и координации сетецентрического управления региональной безопасностью.

Известные теоретические и прикладные разработки в области информационной поддержки управления региональной безопасностью ориентированы, в основном, на решение частных задач обеспечения безопасности элементов и подсистем РСЭС - например, в сферах, связанных с метеорологией, промышленной экологией, морской деятельностью, энергетикой, транспортной логистикой или кадровым потенциалом. Эти разработки, как правило, не предусматривают вариантов совместного использования. В связи с этим, при применении изолированно друг от друга, они не обеспечивают достижение ощутимого социально-экономического или научно-технического эффекта от решения задач информационной поддержки управления региональной безопасностью. Вместе с тем, практическое отсутствие научно-методического и технологического базиса для интеграции существующих решений в области информационного обеспечения региональной безопасности является существенным барьером на пути создания и совместного использования средств информационно-аналитической поддержки управления безопасностью РСЭС.

Указанные обстоятельства препятствуют формированию целостной информационной среды региональной безопасности.

Таким образом, основная идея диссертационной работы заключается в решении важной и актуальной **научно-технической проблемы** информационной поддержки и координации сетевентрического управления региональной безопасностью. Для своего решения сформулированная проблема требует совершенствования существующих и разработки новых методов и средств информационно-аналитической поддержки управления функционированием и развитием сложных динамических систем. Информационная поддержка управления региональной безопасностью остается открытой научной проблемой. В связи с этим, возникает необходимость в разработке научно-методических основ информационного обеспечения управления региональной безопасностью.

Под *информационной поддержкой* в работе понимается механизм управления, основанный на информационно-аналитическом сопровождении процесса выработки и реализации управленческих решений в ситуациях, когда управляющее воздействие носит неформализованный характер, и субъекту управления предоставляется информация о ситуации, ориентируясь на которую он получает возможность корректировать линию поведения объекта управления. В качестве такого объекта в работе рассматривается региональная безопасность и ее составляющие.

Исследования проводятся на примере проблем безопасности, специфичных для Мурманской области – региона, входящего в состав Арктической зоны России. Решение сформулированной научной проблемы необходимо для повышения эффективности деятельности субъектов управления безопасностью в этом районе. Эффект достигается за счет реализации адекватной информационно-аналитической поддержки и координации процессов принятия решений на всех уровнях управления региональной безопасностью.

**Границы исследования** определяются рассмотрением вопросов обеспечения безопасности региональных социально-экономических систем в условиях медленно развивающиеся кризисных ситуаций, когда имеется достаточно большой резерв времени для принятия управленческих решений и реализации превентивного управления развитием кризисных ситуаций. Работа направлена на создание средств поддержки принятия решений для управления регионом в условиях кризисных

ситуаций в социально-экономической сфере. Для этого исследуются системные связи, закономерности и тенденции, определяющие безопасность развития региональных социально-экономических систем, а также вопросы анализа, моделирования и автоматизации процессов управления безопасностью развития региона с учетом региональных особенностей, неполноты информации для принятия управленческих решений и динамики социально-экономической среды.

**Предметом исследования** диссертационной работы является методическое и информационное обеспечение поддержки управления безопасностью развития региональных социально-экономических систем для повышения эффективности деятельности субъектов безопасности в кризисных ситуациях на трех уровнях принятия управленческих решений: стратегическом, оперативном, тактическом.

**Объектами исследования** диссертационной работы являются безопасность развития региональных социально-экономических систем (далее - региональная безопасность), подверженных влиянию множества внешних и внутренних факторов, а также многоуровневая система управления региональной безопасностью, построенная на основе сети распределенных ситуационно-кризисных центров.

**Целью диссертационного исследования** является разработка комплексной методологии информационной поддержки управления развитием региональных социально-экономических систем для повышения эффективности и безопасности их функционирования.

Для достижения цели необходимо разработать комплекс моделей, комбинированных методов и технологий получения, анализа и обработки информации, ориентированных на создание целостной информационной среды региональной безопасности. Построение такой среды обеспечит повышение качества принимаемых решений на всех уровнях управления в этой сфере за счет комплексной информационно-аналитической поддержки и координации деятельности субъектов безопасности.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели в диссертации решается ряд взаимосвязанных задач:

1. Системный анализ проблемы сетецентрического управления безопасностью РСЭС с целью постановки и формализации задач информационной поддержки управления региональной безопасностью.

2. Разработка методологии информационной поддержки управления региональной безопасностью на трех уровнях принятия решений (стратегическом, оперативном, тактическом) на основе интеграции методов концептуального, системно-динамического и мультиагентного моделирования.
3. Разработка интегрированной концептуальной модели информационной среды региональной безопасности, обеспечивающей координацию сетевоцентрического управления и единое формализованное представление объектов, процессов и задач управления безопасностью, а также информационных ресурсов и сервисов, необходимых для решения этих задач.
4. Разработка метода автоматизированного синтеза и оценки эффективности конфигурации мультиагентных моделей организационных структур управления региональной безопасностью, обеспечивающих решение задач управления безопасностью в разнотипных кризисных ситуациях, в условиях разнородных слабоструктурированных исходных данных.
5. Создание комплекса имитационных моделей и методов информационного мониторинга и индикаторной оценки показателей региональной безопасности с целью формирования интегрального показателя безопасности РСЭС.
6. Разработка методов и технологий формирования и функционирования мультиагентной распределенной среды для информационной поддержки сетевоцентрического управления региональной безопасностью, обеспечивающих виртуализацию деятельности субъектов управления на базе программных агентов.
7. Разработка архитектуры агентной платформы и комплекса программных средств, реализующих предложенные модели, методы и технологии. Апробация разработок в рамках решения задач информационной поддержки управления региональной безопасностью на примере Мурманской области.

**Информационная база исследования** включает: материалы государственной статистики, оперативные отчеты региональных ситуационно-кризисных центров, материалы исполнительных органов государственной власти и предприятий региона, а также экспертные оценки.

**Методы исследования.** Для решения поставленных в работе задач предложена единая *методологическая база исследования*, которая включает: методы системного анализа, концептуального и имитационного моделирования, теории многоуровневых

иерархических систем, системной динамики, теории многоагентных систем, методы онтологического моделирования и инженерии знаний, методы проектирования распределенных информационных систем.

Решение комплекса задач диссертационного исследования в рамках сформулированной проблемы позволило получить и обосновать ряд научных результатов, определяющих следующие **положения, выносимые на защиту:**

1. Методология информационной поддержки управления региональной безопасностью, обеспечивающая решение комплекса задач устойчивого развития социально-экономических систем на всех этапах жизненного цикла.

2. Интегрированная концептуальная модель мультиагентной информационно-аналитической среды региональной безопасности, являющаяся формальной базой для автоматизации и имитационного моделирования процессов управления региональной безопасностью.

3. Метод автоматизированного синтеза спецификаций мультиагентных моделей организационных структур управления региональной безопасностью в разнотипных кризисных ситуациях на основе совместного анализа семантического описания решаемых задач, информационных ресурсов и сервисов агентов. Метод обеспечивает динамическое формирование коалиций между агентами и ассоциированных с ними виртуальных ресурсов.

4. Метод комплексной оценки безопасности развития региональных социально-экономических систем, основанный на формировании и анализе интегрального показателя региональной безопасности и обеспечивающий основу для решения задач синтеза сценариев управления безопасным региональным развитием.

5. Метод виртуализации процессов принятия управленческих решений на основе расширения инструментария мультиагентного и онтологического подходов средствами реализации имитационного аппарата агентов и семантической интеграции разнородных информационных ресурсов и сервисов, обеспечивающий адаптивное моделирование целенаправленного поведения субъектов управления на всех этапах обеспечения региональной безопасности.

6. Мультиагентная технология динамического формирования и реконфигурирования информационной среды региональной безопасности, основанная

на использовании модифицированной модели самоорганизации в одноранговых распределенных системах на основе градиентных вычислительных полей.

7. Архитектура сервис-ориентированной распределенной агентной платформы для моделирования задач управления региональной безопасностью. В рамках платформы реализованы разработанные модели, методы и технологии, что обеспечило технологический базис для формирования мультиагентной информационной среды региональной безопасности.

8. Исследовательские прототипы программных средств, реализующих мультиагентную информационную среду региональной безопасности.

**Научная новизна исследования** заключается в том, что полученные в работе результаты направлены на теоретическое развитие методологии и информационных технологий поддержки и координации сетецентрического управления безопасностью региональных социально-экономических систем для повышения эффективности информационного обеспечения региональной безопасности. В работе исследована новая предметная область: региональная безопасность, к которой впервые применены сетецентрический подход к организации систем информационного обеспечения региональной безопасности, методы координации децентрализованного управления в многоуровневых распределенных системах, мультиагентный подход к виртуализации процессов принятия управленческих решений, средства концептуального синтеза динамических моделей сложных систем, технологии реализации виртуальных систем, основанных на знаниях. Интеграция полученных результатов позволила реализовать новый методологический подход к созданию интеллектуализированных средств информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью.

Наиболее важные результаты, определяющие научную новизну работы:

1. В диссертации проведено обобщение и развитие теоретических и методологических основ информационной поддержки управления безопасностью сложных социально-экономических систем. Предложен когнитивный подход и методология решения проблемы информационной поддержки и координации процессов управления безопасностью региональных социально-экономических систем для повышения эффективности децентрализованного управления безопасностью данного класса систем. В отличие от известных теоретических результатов предлагаемый подход основан на интеграции методов

концептуального, системно-динамического и мультиагентного моделирования сложных динамических систем и процессов. Подход обеспечивает расширение адаптационных возможностей и интеллектуализацию систем информационно-аналитической поддержки управления сложными объектами различной природы за счет комбинированного использования указанных методов и средств их реализации на всех уровнях принятия управленческих решений.

2. Разработана интегрированная концептуальная модель мультиагентной информационно-аналитической среды безопасности региона, обеспечивающая комплексное формализованное представление структуры и задач управления региональной безопасностью и связанных с этими задачами информационных процессов. Модель обладает когнитивными свойствами и является формальной основой для реализации процедур автоматизированного синтеза и анализа мультиагентных моделей организационных структур управления региональной безопасностью.
3. Разработан метод автоматизированного синтеза и оценки качества конфигурации мультиагентных моделей организационных структур управления региональной безопасностью, обеспечивающий динамическое формирование коалиций агентов и ассоциированных с ними наборов информационных ресурсов, адекватных решаемым задачам управления безопасностью в условиях кризисных ситуаций. Метод основан на совместном анализе концептуального описания решаемых задач, информационных ресурсов и сервисов агентов и поддерживает использование слабоструктурированных неполных исходных данных.
4. Разработан комплекс имитационных моделей и метод оценки безопасности развития региональных социально-экономических систем. Метод основан на формировании и анализе матрицы показателей региональной безопасности и обеспечивает индикаторную оценку региональной безопасности при различных сценариях развития региона на основе экспертно-имитационного моделирования.
5. Для координации сетецентрического управления региональной безопасностью разработана многоуровневая рекуррентная иерархическая модель комплексной безопасности, обеспечивающая согласование показателей безопасности региона, оптимизируемых различными элементами многоуровневых систем регионального управления, в условиях децентрализованного принятия решений. Специфика

модели заключается в использовании функционально-целевой технологии и математического аппарата теории иерархических многоуровневых систем для реализации процедур согласования локальных решений сетевентрического управления. Для согласования целей всех субъектов управления система обеспечения региональной безопасности представляется сетью с выделенными организационными центрами управления.

6. Разработанные метод и средства мультиагентной виртуализации процессов принятия управленческих решений обеспечивают моделирование поведения каждого субъекта управления как автономного про-активного агента с собственными интересами и целями. Агенты участвуют в решении задач информационной поддержки управления региональной безопасностью посредством формирования коалиций между агентами на основе самоорганизации и коллективной адаптации агентов к динамике внешней среды. Метод основан на расширении инструментария мультиагентного и онтологического моделирования средствами реализации имитационного аппарата агентов и семантической интеграции разнородных информационных ресурсов и сервисов.
7. Созданы модели и технологии динамического синтеза и конфигурирования проблемно-ориентированных коалиционных мультиагентных систем и виртуальных сетей ресурсов для информационно-аналитической поддержки деятельности субъектов управления региональной безопасностью на всех уровнях принятия решений. Разработки базируются на использовании модифицированной модели самоорганизации агентов в одноранговых распределенных системах на основе градиентных вычислительных полей, что обеспечивает формирование расширяемой информационной среды региональной безопасности и ее интеграцию в региональное информационное пространство.

**Практическая значимость** результатов диссертационного исследования заключается в том, что полученные результаты обеспечивают необходимые методологические основы для решения важной и актуальной проблемы автоматизации и координации децентрализованного управления безопасностью региональных социально-экономических систем, подверженных влиянию множества внутренних и внешних угроз, в динамически изменяющихся условиях.

Предложенные разработки обеспечили также основу создания компьютерных

тренажерно-моделирующих комплексов для субъектов государственного управления регионального и муниципального уровней, системных аналитиков, менеджеров и экспертов в области обеспечения безопасности и устойчивого развития региональных социально-экономических систем. Такие программные комплексы предназначены для интеллектуальной поддержки принятия решений в сфере управления региональным развитием.

Мультиагентная информационная среда региональной безопасности может быть использована для информационной поддержки управления региональной безопасностью на всех уровнях принятия управленческих решений - стратегическом, тактическом и оперативном. Ее применение позволяет повысить качество принимаемых решений за счет использования предложенных методов и средств мультиагентной виртуализации, адекватных сложности решаемых задач информационной поддержки, и обеспечивает формирование программно-алгоритмического базиса инфраструктуры систем информационного обеспечения региональной безопасности в Арктической зоне РФ.

Результаты диссертационного исследования и сформулированные на их основе рекомендации нашли применение в таких предметных областях, как:

**1. Государственное управление.** Для Министерства экономического развития Мурманской области разработан комплекс моделей и программных средств, обеспечивающих прогнозирование динамики показателей социально-экономического развития региона, анализ и синтез сценариев регионального развития с учетом влияния разнородных факторов. Разработана мультиагентная технология информационного мониторинга угроз региональной безопасности. Построены формализованные модели жизненного цикла угроз региональной безопасности и программные агенты для сбора и обработки информации о влиянии изменяющихся угроз на состояние региональных систем. Разработки обеспечивают автоматизированное формирование матрицы показателей региональной безопасности и прогнозирование динамики показателей с учетом информации, поступающей в режиме реального времени. Результаты использованы при разработке «Стратегии социально-экономического развития Мурманской области до 2015 года», а также при проведении оценки результативности реализации рекомендаций комплексных инвестиционных планов развития монопрофильных муниципальных образований

Мурманской области (многородов). Создан прототип виртуального когнитивного центра управления региональной безопасностью, представляющего собой тренажерно-моделирующий комплекс, инструментарий которого обеспечивает решение комплекса задач интеграции, согласования, обработки, анализа и интерактивной визуализации коллективных экспертных знаний для информационной поддержки принятия управленческих решений в сфере региональной безопасности. Комплекс реализован в виде специализированного облачного сервиса на базе сервисной архитектуры IaaS (Infrastructure as a Service). Результаты используются в области обеспечения экономической безопасности региона.

## **2. Государственно-частное партнерство и инновационная деятельность.**

Для Министерства развития промышленности и предпринимательства Мурманской области разработан комплекс моделей и программных средств автоматизации поиска участников государственно-частного партнерства и оценки их компетенций, а также информационная технология формирования эффективных инновационных структур для реализации социально значимых инвестиционных проектов в регионе. Результаты используются в области обеспечения инновационной безопасности региона.

**3. Кадровая политика.** Для Министерства экономического развития Мурманской области разработан тренажерно-моделирующий комплекс, обеспечивающий определение кадровых потребностей арктического региона и моделирование логистики образовательных услуг в условиях вариативности кадрового заказа с целью синтеза стратегий развития регионального рынка труда. Результаты используются в области обеспечения кадровой безопасности региональной экономики.

**4. Экология и чрезвычайные ситуации.** Для Министерства природных ресурсов и экологии Мурманской области и ГОКУ «Управление по ГО, ЧС и ПБ Мурманской области» разработаны модели и методы оценки экологических ущербов антропогенного воздействия на водные экосистемы региона горнопромышленных производств; методы и средства конфигурирования и координации сил и средств, задействованных в реализации планов ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов с учетом внешних (гидрометеорологических) факторов; модели оценки угроз экологической безопасности арктических коммуникаций на примере

Северного морского пути при его хозяйственном освоении. Результаты используются в области обеспечения промышленно-экологической безопасности региона.

**5. Морская деятельность.** Обоснованные в диссертации методы и оценки используются Морской коллегией при Правительстве Российской Федерации при подготовке нормативных документов и рекомендаций по реализации положений «Морской доктрины Российской Федерации на период до 2030 года» в части обеспечения информационной поддержки государственного управления морской деятельностью на Арктическом региональном направлении.

**6. Проектирование автоматизированных систем комплексной безопасности.** Для ЗАО «Комплексный Технический Сервис» разработанные модели, методы и программные средства нашли применение при разработке структуры и компонентов системы информационного мониторинга социально-экономической и промышленно-экологической обстановки в арктических регионах РФ в рамках аванпроекта по созданию комплексной «Системы освещения обстановки в Арктике». Для этого создан мультипредметный веб-ресурс - *Арктический Интернет-портала RU-Arctic*, обеспечивающий на основе веб-технологий унифицированную точку доступа к ресурсам информационной среды региональной безопасности.

**7. Международная деятельность.** Разработанные модели, методы и технологии используются Вторым Европейским Департаментом МИД России, Институтом актуальных международных проблем Дипломатической Академии МИД России, а также Национальным исследовательским институтом глобальной безопасности для исследования и анализа сценариев развития геополитической ситуации в Баренцевом/Евро-Арктическом регионе с целью прогнозирования международных конфликтов и формирования эффективных организационных структур управления региональной безопасностью в этом районе. Разработки обеспечили возможность выработки рекомендаций по совершенствованию действующей системы управления международной безопасностью на региональном уровне. Для автоматизации установления профессиональных контактов в области международного сотрудничества по вопросам инновационного и безопасного развития Баренцева/Евро-Арктического региона создан веб-сервис *BarentsNet*, реализующий функционал профессиональной социальной сети, объединяющей экспертов, заинтересованные бизнес-сообщества и государственные структуры.

**8. Образовательная деятельность.** Материалы диссертационного исследования использованы в учебном процессе на кафедре информационных систем и технологий Кольского филиала ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет», а также на кафедре государственного управления и национальной безопасности ФГБОУ ВПО «Дипломатическая Академия МИД России».

### **Основные практические результаты**

1. Программная мультиагентная система информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью обеспечивает формирование и оценку конфигурационной эффективности виртуальных организационных структур управления безопасностью в разнородных кризисных ситуациях. Система обеспечивает моделирование целенаправленного поведения и координацию деятельности субъектов безопасности на основе виртуализации процессов взаимодействия между ними с учетом спецификации ситуации, класса объекта безопасности, пространственно-временных и ресурсных ограничений. В рамках системы осуществляется интеграция и автоматизированная децентрализованная обработка распределенных информационных ресурсов, а также поиск и композиция сервисов на базе коалиционных взаимодействий когнитивных агентов.

2. Программная агентная платформа, представляющая собой комплекс программ, обеспечивающих поддержание корректного и согласованного функционирования программных мобильных агентов субъектов управления в распределенной информационной среде региональной безопасности, а также синтез имитационных моделей из шаблонов для создания полимодельных комплексов. Программные средства обеспечивают расширение функциональных возможностей стандартной спецификации существующих агентных платформ, применяемых для поддержки функционирования и взаимодействия когнитивных агентов в открытых мультиагентных системах, средствами синтеза имитационных моделей и использования полимодельных комплексов.

3. Разработанный комплекс системно-динамических моделей прогнозирования социально-экономического развития РСЭС позволяет оценить и исследовать динамику показателей региональной безопасности. Модели синтезируются из библиотеки типовых имитационных шаблонов, которые созданы для таких концептуальных классов, как: объекты обеспечения безопасности, субъекты

безопасности, действующие факторы (внутренние и внешние угрозы безопасности), кризисные ситуации, сценарии снижения рисков возникновения потенциальных угроз безопасности, и реализованы в среде агентного имитационного моделирования Anylogic. Использование моделей обеспечивает анализ разнородных рисков, связанных с безопасностью компонентов региональной системы.

На основе полученных практических результатов сформирована сетецентрическая мультиагентная информационно-аналитическая среда (ИАС «Безопасный Виртуальный Регион») с унифицированной точкой доступа на основе веб-технологий для задач информационного обеспечения управления безопасностью развития Мурманской области. Среда является частью единого информационного пространства региона и представляет собой интеграционную площадку для средств информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью.

**Связь исследований с научными программами и реализация результатов работы.** В основу диссертационной работы положены результаты, полученные автором в ходе исследований, проводимых по планам научно-исследовательских работ Института информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН: "Информационные технологии управления инновационным развитием региона (на примере Мурманской области)" (№ гос. рег.: 01200502662; 2005-2007 гг.), "Информационные технологии региональных макросистем" (№ гос. рег.: 01200502661; 2005-2007 гг.), "Информационные технологии управления развитием регионального научно-образовательного комплекса" (№ гос. рег.: 01200850591; 2008-2010 гг.), "Методы и технологии информационного обеспечения жизненного цикла инноваций" (№ гос. рег.: 01200850592; 2008-2010 гг.), "Модели и технологии комплексного информационного обеспечения социально-экономического развития арктических регионов РФ" (№ гос. рег.: 01201153383; 2011-2013 гг.), "Когнитивные информационные технологии для информационно-аналитической поддержки управления безопасностью развития арктических регионов РФ (на примере Мурманской области)" (№ гос. рег.: 01201151895; 2011-2013 гг.), "Методы и когнитивные технологии создания, исследования и использования виртуальных систем поддержки управления комплексной безопасностью развития Арктической зоны Российской Федерации" (№ гос. рег. 01201452426, 2014-2016 гг.).

Результаты диссертационного исследования использованы при выполнении работ по Программе фундаментальных исследований Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН: «Фундаментальные основы информационных технологий и систем»: проект №2.6. «Разработка теоретических основ проектирования региональных информационных сетей» в 2006-2008 гг.; «Информационные технологии и методы анализа сложных систем»: проект №2.4 «Модели и методы управления развитием информационно-коммуникационной инфраструктуры проблемно-ориентированных региональных информационных систем» в 2009-2011 гг.; «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация»: проект №2.8 «Развитие методологии проектирования региональных информационных систем для информационно-аналитической поддержки задач развития Арктических регионов РФ» в 2012-2014 гг.

Отдельные направления исследований поддержаны грантами РФФИ: №05-07-90050 «Инструментальная система формирования распределенной вычислительной среды междисциплинарных исследований» (2005-2007 гг.), №05-07-97508 «Создание инструментальной среды для интегрированного распределенного доступа к разнородным семантически связанным источникам данных» (2005-2006 гг.), №08-07-00301 «Разработка информационной технологии и распределенной информационно-аналитической среды поддержки инновационной деятельности» (2008-2010 гг.), №09-07-98800 «Разработка информационной системы с распределенным доступом для комплексной поддержки организационного управления региональной системой профессионального образования» (2009-2011 гг.), №12-07-00138 «Разработка когнитивных моделей и методов формирования интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью Арктических регионов России» (2012-2014 гг.), №15-29-06973 «Развитие методологии, модельного инструментария и информационных технологий системной оценки рисков нового освоения Арктики» (2015-2017 гг.).

**Научная аprobация результатов работы.** Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на 32 научных мероприятиях (конференциях и семинарах) международного, всероссийского и регионального уровней, наиболее значимые из которых:

- Всероссийская школа-семинар «Прикладные проблемы управления макросистемами» (Апатиты, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016 гг.);
- Всероссийская научно-практическая конференция «Теория и практика системной динамики» (Апатиты, 2007, 2009, 2011, 2013, 2015 гг.);
- EUROSIM Congress on Modeling and Simulation «SLOSIM» (Любляна, Словения, 2007 г.);
- Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» (Калуга, 2007 г.; Звенигород, 2009 г.; Красноярск, 2013 г.);
- Международная научно-практическая конференция «Темпы и пропорции социально-экономических процессов в регионах Севера» (Апатиты, 2007 г.);
- Международная научно-практическая конференция «Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения» (Апатиты, 2010, 2012, 2014 гг.);
- Международная научная конференция «Моделирование и анализ массовых событий в экономике и социуме» (Санкт-Петербург, 2010 г.);
- Международная конференция «Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2011)» (Москва, 2011 г.);
- Annual conference «Arctic Frontiers» (Тромсе, Норвегия, 2012, 2015 гг.);
- Всероссийская морская научно-практическая конференция «Стратегия морской деятельности России и экономика природопользования в Арктике» (Мурманск, 2012, 2014, 2015 гг.);
- Международная научно-практическая конференция «Инновационное и безопасное сотрудничество в Баренцевом/Евроарктическом регионе» (Апатиты, 2013 г.; Петрозаводск, 2014 г.);
- Всероссийская научно-практическая конференция «Развитие Севера и Арктики: проблемы и перспективы» (Апатиты, 2012, 2013 гг.);
- XII Всероссийское совещание по проблемам управления (Москва, 2014 г.);
- Международная научная конференция «Проблемы управления безопасностью сложных систем» (Москва, 2014 г.);
- Международный Форум «Арктика: настоящее и будущее» (Санкт-Петербург, 2014, 2015 г.).

**Личный вклад автора.** Основные научные результаты диссертационной работы получены лично автором. Автор внес вклад в постановку теоретических и

экспериментальных задач исследования, разработку путей их решения и методики исследования, интерпретацию результатов, формулировку выводов и научно-практических рекомендаций, программно-алгоритмическую реализацию предложенных научно-методических разработок, оформление текстов статей и докладов. В постановке отдельных задач и обсуждении результатов работ принимали активное участие д.т.н. В.А. Путилов и д.т.н. А.Г. Олейник. Ряд практических результатов исследования получен автором совместно с сотрудниками Института информатики и математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН д.т.н. А.В. Гороховым и д.т.н. М.Г. Шишаевым.

**Публикации по теме диссертации.** Все публикации, в том числе подготовленные в соавторстве, в которых отражено основное содержание диссертационной работы, были инициированы и спланированы при непосредственном участии автора. По результатам диссертационного исследования опубликовано 80 печатных научных работ, в том числе 27 статей в периодических журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 53 публикации в российских и зарубежных журналах, сборниках научных трудов и материалах конференций. Получено 8 свидетельств о регистрации электронных ресурсов (алгоритмов и программ) в ОФАП и ОФЭРНиО.

### *Основное содержание диссертационной работы*

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений.

Во введении представлен общий взгляд на решаемую в работе научную проблему. Обосновывается важность и актуальность темы диссертации, формулируются цели диссертационной работы и решаемые задачи, определяется научная новизна работы и указывается её практическая ценность, приводятся данные о внедрении и апробации результатов исследований.

Первая глава «Системный анализ проблемы сетевентрического управления региональной безопасностью» диссертации является постановочной и посвящена системному анализу проблемы сетевентрического управления региональной безопасностью. Рассматривается современное состояние исследований в данной проблемной области, специфика управления региональной безопасностью как объекта информационной поддержки. Представлен аналитический обзор

существующих прототипов и подходов к организации методического и информационного обеспечения управления региональной безопасностью. Формулируется комплекс задач информационной поддержки управления региональной безопасностью. Определяются требования к средствам их решения.

**Вторая глава «Развитие методологии исследования и разработка информационных моделей для поддержки сетевентрического управления региональной безопасностью»** посвящена разработке комплекса концептуальных и имитационных моделей, обеспечивающих формальную основу для информационно-аналитической поддержки и координации сетевентрического управления безопасностью региональных социально-экономических систем. Предлагается единая методологическая база для решения проблемы сетевентрического управления региональной безопасностью и соответствующих задач информационной поддержки.

**В третьей главе «Разработка методов и технологий формирования мультиагентной распределенной среды для информационной поддержки управления региональной безопасностью»** рассматриваются вопросы развития существующих, а также создания новых методов и технологий формирования виртуальных проактивных систем для информационной поддержки задач управления и принятия решений в сфере региональной безопасности. Представлены разработанные методы и средства агентно-ориентированной виртуализации процессов управления региональной безопасностью, модели функционирования мультиагентной информационной среды региональной безопасности.

**Четвертая глава «Разработка архитектуры и компонентов сетевентрической информационной инфраструктуры региональной безопасности»** посвящена разработке информационно-технологической архитектуры и системообразующих элементов сетевентрической мультиагентной виртуальной среды региональной безопасности. Предложена технология динамического синтеза и конфигурирования функциональных и информационных компонентов данной среды.

**Пятая глава «Практическая реализация и использование мультиагентной информационно-аналитической среды региональной безопасности»** относится к экспериментальной части диссертационной работы. В ней приводятся примеры практического использования созданных моделей, методов и программных средств

применительно к проблемам безопасности Мурманской области, а также технико-экономическое обоснование эффективности практических результатов работы.

В *заключении* изложены основные научные результаты работы, сделан вывод о достижении цели диссертационного исследования.

В *приложении* приведен перечень показателей региональной безопасности, представлены свидетельства о регистрации программ для ЭВМ и акты о внедрении результатов диссертационной работы, справочно-иллюстративный материал.

# ГЛАВА 1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

Современный этап развития Российской Федерации характеризуется усложнением существующих и появлением новых задач управления социально-экономическими системами различного уровня. Эти задачи связаны, главным образом, с необходимостью адаптивного антикризисного управления развитием социально-экономических систем и обеспечения безопасности во всех сферах общественных отношений в условиях быстро развивающихся глобализационных процессов. Сложившаяся на сегодняшний день неблагоприятная геополитическая ситуация в мире обуславливает ужесточение существующих и формирование принципиально новых требований к средствам и технологиям управления безопасностью социально-экономических систем. Наиболее остро проблемы безопасности проявляются на региональном уровне. Поэтому важной и актуальной задачей является совершенствование существующей системы и механизмов организационного управления безопасностью региональных социально-экономических систем (РСЭС). В данной главе диссертации проводится системный анализ проблем управления региональной безопасностью и методов их решения для постановки задач исследования и определения требований к разработке адекватного этим задачам модельного, методического и программного инструментария.

## **1.1. Общая характеристика проблемы управления безопасностью региональных социально-экономических систем**

В настоящее время развитие национальной и региональной экономик во многом определяется закономерностями общемировых глобализационных процессов, которые, с одной стороны, способствуют увеличению темпов экономического роста и тем самым обеспечивают возможность удовлетворять возрастающие потребности все большего населения планеты, а с другой - влекут за собой рост неопределенности и неустойчивость развития. Возникающие возмущения носят труднопрогнозируемый характер и являются дестабилизирующим фактором, существенно осложняющим управление социально-экономическими системами различного уровня. Согласно исследованиям [155, 177], эти обстоятельства требуют поиска путей комплексного решения экономических, социальных, научно-технических и экологических проблем

в условиях глобализации и ставят задачу перехода регионов страны на модель устойчивого поступательного социально-экономического развития в разряд наиболее актуальных.

Проблемы управления устойчивым развитием РСЭС не теряют своей актуальности на протяжении уже многих десятилетий [39, 96, 115, 160]. В конце XX – начале XXI вв. эти проблемы приобрели особую остроту ввиду усиления влияния глобализации на социально-экономические процессы и трансформировались в проблему глобальной безопасности [19, 79].

Необходимым условием перехода РСЭС на траекторию устойчивого развития является обеспечение защищенности процесса развития региональной системы от внутренних и внешних опасностей, то есть региональной безопасности. Воздействие и динамика различного рода внутренних и внешних угроз региональной безопасности приводят к возникновению множества труднопрогнозируемых чрезвычайных и кризисных ситуаций в социальной сфере, экономике, экологии и других сферах регионального развития. Это, в свою очередь, порождает негативные последствия, способные привести к дестабилизации систем более высокого уровня – национального, международного, мирового. В этом состоит специфика региональной безопасности. Для парирования угроз и оперативного планирования антикризисных мероприятий требуется адекватная методическая и информационная поддержка управления безопасностью региональных систем, повышающая его эффективность и обеспечивающая возможность достижения желаемого или допустимого (с позиций концепции приемлемого риска) уровня безопасности элементов и подсистем РСЭС.

Анализ современного состояния исследований проблем безопасности РСЭС [2, 6, 8, 12, 15, 19, 34, 50, 57, 79, 123, 154, 177, 179, 180, 185, 191, 214] показывает, что в настоящее время управление региональной безопасностью недостаточно эффективно.

Согласно исследованию [177], с точки зрения системного подхода сложность управления региональной безопасностью состоит в том, что РСЭС, как объект управления, представляет собой совокупность тесно взаимосвязанных различных по масштабам и структуре естественных и искусственных подсистем, объединяющих в единое целое экономическую инфраструктуру, социальную сферу, производство, окружающую среду, сферу перераспределения, различные социальные группы и большие коллективы людей. Чем выше степень гармонизации развития региональных

компонентов, тем выше уровень региональной безопасности, то есть защищенность региона от влияния внутренних и внешних угроз различной природы.

Основной особенностью процессов управления региональной безопасностью является необходимость согласованного решения двух взаимосвязанных задач: обеспечение устойчивого поступательного социально-экономического развития региона, с одной стороны, и его защита от воздействия внутренних и внешних угроз различной природы, с другой.

Региональная безопасность является одним из уровней национальной безопасности страны и включает такие системообразующие элементы (сфера) как экономическая [165], экологическая [18], социальная [177], кадровая [75], энергетическая [17], инновационная [49] безопасность и другие. Вместе с тем, задача управления региональной безопасностью уже на уровне постановки должна быть тесно связана с региональными особенностями, которые в значительной степени влияют на возможность и эффективность применения существующих научно-методических и практических разработок для решения задач информационной поддержки управления безопасностью РСЭС.

Сложность управления безопасностью РСЭС проявляется не только в региональных особенностях, но и в таких аспектах, характерных для этого класса систем, как слабая формализованность, многоаспектность и взаимосвязанность происходящих в системах процессов, структурная сложность и пространственная распределенность и других.

Специфика безопасности развития РСЭС состоит также в том, что, с одной стороны, уровень безопасности региона существенно зависит от глобальных угроз. С другой стороны, возможные кризисы и чрезвычайные ситуации регионального уровня, способные привести к дестабилизации систем более высокого уровня – федерального, международного, мирового. Поэтому региональную безопасность следует рассматривать не только на региональном, но и на федеральном уровне (влияние соседних регионов).

Развиваемая в настоящей работе методология управления региональной безопасностью также как и концепция устойчивого развития базируется на системном подходе, то есть рассматривает объект управления (страну, регион, город, конкретную отрасль и т.п.), как систему. Это, в свою очередь, обеспечивает

возможность использования современных достижений в сфере компьютерных технологий и методов моделирования для повышения эффективности и безопасности функционирования РСЭС, в том числе разработку новых методов и средств информационной поддержки управления безопасностью развития этих систем.

Несмотря на то, что в последние десятилетия вопросам безопасности на различных уровнях государственного управления уделяется большое внимание, до сих пор в решении проблем управления региональной безопасностью не дооценивается стремительно растущий потенциал когнитивных информационных технологий, методов компьютерного моделирования, социальных сетей и интеллектуальных информационно-аналитических систем нового поколения, включая обучаемые нейронные сети, контекстно-управляемые, мультиагентные и киберфизические (виртуальные) системы.

Важнейшей особенностью современных глобализационных процессов является повышение требований к информационному обеспечению безопасности РСЭС на международном, национальном и региональном уровнях. Данные требования выражаются, с одной стороны, в необходимости непрерывного информационного мониторинга и индикаторного оценивания объективных и, в большинстве случаев, очевидных угроз региональной безопасности, возникающих в результате проявления различных кризисных явлений в социально-экономической, военно-политической и других сферах. С другой стороны, эти требования выражаются в необходимости прогнозирования не столь явно проявляющихся и зачастую носящих неочевидный (скрытый) характер внешних и внутренних угроз конкретным территориальным образованиям [176]. В таких условиях адекватная информационная поддержка управления региональной безопасностью призвана повысить его эффективность.

Для наилучшего понимания проблематики информационной поддержки управления региональной безопасностью необходимо иметь четкое представление о современном состоянии этой предметной области.

### ***Определение понятия «региональная безопасность»***

В современной научной литературе региональная безопасность как социальное явление является сложным объектом комплексного изучения и трактуется с различных подходов в зависимости от рассматриваемых экономических, социальных, экологических и прочих аспектов региональной безопасности в каждом конкретном

исследовании. При этом сам термин «региональная безопасность» определяется недостаточно четко. Разными исследователями в него вкладывается различный смысл. Такое многообразие обусловлено различными контекстами рассмотрения данного термина в рамках сложившихся теорий безопасности [8, 18, 19, 37, 57, 67, 79, 110, 111, 122, 124, 165, 177, 179], с одной стороны, и динамичностью самих этих теорий – с другой.

В диссертационной работе термин «региональная безопасность» определяется как такое состояние защищенности РСЭС, при котором система сохраняет способность стablyно функционировать и развиваться в долгосрочной перспективе, обеспечивая противодействие влиянию внутренних (локальных) и внешних (глобальных) угроз устойчивого развития.

К внутренним угрозам устойчивого развития относятся, например, демографические проблемы (миграция), истощение ресурсной базы, проблемы кадрового обеспечения и т.д., а к внешним – глобальное изменение климата, «падение рынка» (изменение инвестиционного климата) и другие.

Под *состоянием защищенности* понимается состояние региональной системы, при котором действие внешних и внутренних факторов на элементы и подсистемы РСЭС не приводит к ухудшению или к невозможности её функционирования или развития [67]. Это сложное состояние, характеризующее уровень безопасности развития региона, представляет собой множество согласованных устойчивых состояний элементов и подсистем РСЭС.

Параметры вектора состояний компонентов РСЭС, определяющие ее состояние защищенности, оцениваются в многомерном пространстве критериев. Областью безопасности РСЭС является пространство устойчивых состояний элементов и подсистем РСЭС. Движение РСЭС в этой области определяется как *поступательное (безопасное) развитие региона*.

### *Анализ и классификация угроз региональной безопасности*

Сущность управления региональной безопасностью заключается в обеспечении устойчивого социально-экономического развития региона в условиях воздействия угроз различной природы. Под *угрозой* понимается совокупность условий и факторов, создающих опасность жизненно важным интересам личности, общества и государства. *Опасность* – реализация угрозы (угроза в действии). В соответствии с

характеристиками источников угроз принято выделять внешние (в зависимости от локализации источника – первого и второго типа) и внутренние угрозы региональной безопасности (рисунок 1.1).

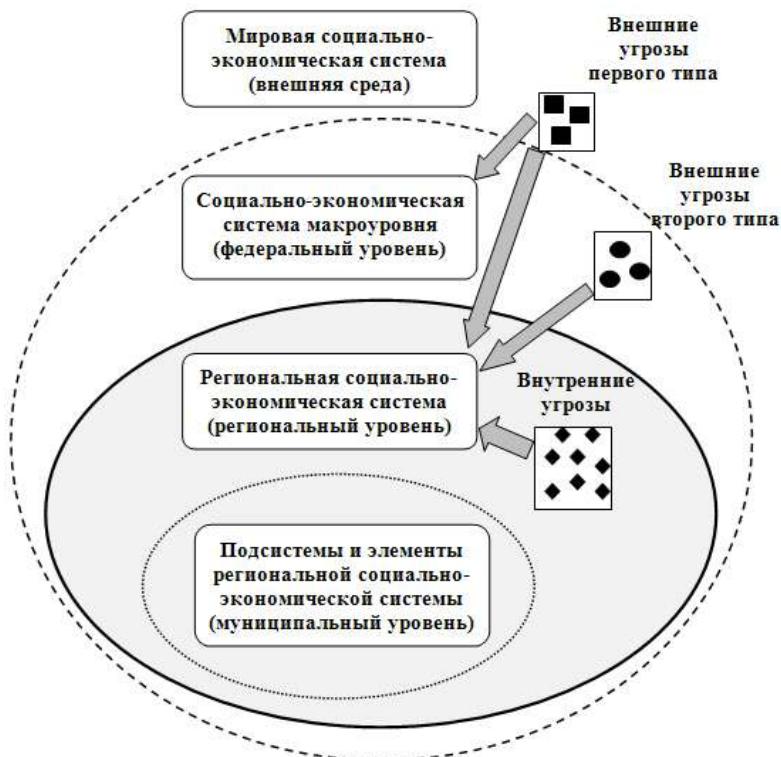


Рисунок 1.1 - Структура угроз региональной безопасности

Внешние угрозы региональной безопасности первого типа носят глобальный характер и исходят из внешней среды. Эти угрозы тесно связаны с негативным влиянием ряда общемировых процессов и тенденций их развития на международные аспекты национальной безопасности России [14]. Внешние угрозы региональной безопасности наиболее ярко проявляются в приграничных и ресурсоемких регионах, где, как известно, размещаются объекты оборонной, промышленной и транспортной инфраструктуры [51]. К числу таких регионов относится Мурманская область.

К внешним угрозам региональной безопасности также относятся экологические угрозы, в частности, природные и техногенные катастрофы. Предотвращение и ликвидация последствий подобного рода чрезвычайных ситуаций требует совместных и скоординированных действий на всех уровнях управления региональной безопасностью, включая международный, федеральный и межрегиональный уровни.

Кроме того, внешние угрозы порождаются в результате развития современных глобализационных процессов. В данном случае к ним относятся разнообразные кризисные ситуации в мировой экономике; санкционное препятствование развитию

международного сотрудничества и торгово-экономических связей; колебания на мировом рынке спроса и предложения, уровня мировых цен на энергоносители и курсов национальных валют и другие кризисные явления.

Угрозы региональной безопасности второго типа связаны с существующими проблемами социально-экономического развития страны, бюджетно-финансовыми проблемами, несовершенством системы управления экономикой, комплексом проблем системы бюджетирования, неэффективностью системы межрегионального взаимодействия, природными и техногенными чрезвычайными ситуациями, недостатками в системе межрегиональных связей и т.п.

Внутренние угрозы региональной безопасности, прежде всего, связаны с внутренними, специфическими особенностями регионов и во много определяются качеством регионального управления и эффективностью государственной региональной политики. Специфики добавляет и неравномерность развития регионов, которая определяется целым рядом объективных различий. К ним относятся такие как географическое положение, численность и плотность населения, занимаемая площадь и ресурсоемкость, природно-климатические условия, состояние окружающей среды, наличие месторождений полезных ископаемых, промышленная инфраструктура, логистические возможности и т.д.

Другим источником внутренних угроз региональной безопасности является фактическое разграничение сфер ответственности за различные стороны социально-экономического и производственно-хозяйственного развития регионов по различным ведомствам (связь, экология, энергетика, социальная сфера, жилищно-коммунальное хозяйство, образование, промышленность, логистика и т.д.), деятельность которых на региональном уровне в настоящее время недостаточно эффективно координируется.

Для своевременной идентификации и парирования внутренних и внешних угроз региональной безопасности в первую очередь необходимы согласованное межведомственное взаимодействие, а также непрерывный мониторинг состояния всех сфер развития социально-экономической системы региона по достаточно широкому кругу детализированных показателей [1, 3, 106, 177].

Для эффективного управления региональной безопасностью, как отмечается в исследовании [177], необходим формальный целевой прогноз поведения как самого объекта управления (в данном случае - региона), так и его окружения (внешней

среды). Этот прогноз позволяет выделить совокупность ключевых показателей риска, несущих в себе различного рода угрозы целям и задачам системы организационного управления региональным развитием.

### *Система показателей региональной безопасности*

Анализ литературы показывает, что в настоящее время разработано множество разнообразных отечественных и зарубежных систем показателей устойчивого развития РСЭС [1, 23, 30, 39, 43, 67, 79, 98, 127, 155, 177, 185], отличающихся друг от друга как по количественному составу индикаторов (экономических, социальных, экологических и т.д.), так и по степени их адаптации к различным условиям. Существующие разработки могут также успешно использоваться для решения задач управления региональной безопасностью. Однако, не все из них являются пригодными для применения в любой ситуации, для любых регионов.

Общепринятыми показателями являются: уровень качества жизни, индекс безопасности, уровень занятости, ВРП на душу населения, среднемесячная заработка плата, ожидаемая продолжительность жизни, обеспеченность жильем, поступления в региональный бюджет, численность обучающихся в образовательных учреждениях региона, бюджетная обеспеченность, плотность промышленного производства, удельный вес малых предприятий, налоговая нагрузка, среднедушевые денежные доходы, обеспеченность связью, емкость розничного товарооборота, удельные инвестиции, плотность инвестиций, относительный пассажирооборот, удельный грузооборот автотранспорта, уровень загрязнения окружающей среды, социальная обеспеченность, количество предприятий (рабочих мест), численность населения и другие.

Для формирования и анализа интегрального показателя безопасности развития РСЭС АЗ РФ на основе индикаторного оценивания состояния развития различных региональных подсистем (экономика, экология, наука, образование, социальная сфера, промышленность и т.д.) в работе предлагается расширенная система показателей региональной безопасности. Система создана в результате обобщения существующих индикаторных систем и формирования интегральных показателей, полученных путем свертки ряда групп общепринятых индикаторов безопасности. Система используется в основе имитационных моделей прогнозирования динамики показателей для получения, как интегральной оценки безопасности региона, так и

отдельных ее составляющих. Мониторинг показателей осуществляется с применением автономных программных агентов. Система включает более 50 разнотипных индикаторов, характеризующих в совокупности безопасность РСЭС.

Все множество показателей, отражающих различные стороны региональной безопасности, можно условно разделить на две группы: внешние и внутренние. Установлено, что на факторы внешней среды РСЭС оказывать прямого воздействия не может, а, значит, должна к ним адаптироваться. Факторы внутренней среды – экономические, социальные, экологические, техногенные являются управляемыми. Воздействуя на них, можно управлять региональной безопасностью. Для сопоставления и согласования качественных и количественных значений частных показателей в процедурах расчета интегрального показателя региональной безопасности могут быть использованы методы теории нечетких множеств, отношений и мер [99], методы верbalного анализа решений [52], а также методы координации на основе теории многоуровневых иерархических систем [94].

В ходе исследований показано, что для обеспечения системной согласованности основных составляющих региональной безопасности предложенная система показателей безопасности должна удовлетворять принципу SMART:

- *Simple* (индикаторы должны быть простыми и понятными);
- *Measurable* (индикаторы должны быть измеряемыми - количественно или качественно);
- *Agreed* (индикаторы должны быть согласованными и непротиворечивыми);
- *Realistic* (индикаторы должны быть актуальными и удовлетворять ограничениям в отношении имеющихся ресурсов);
- *Time-bound* (индикаторы должны быть ограничены во времени).

Кроме того, все индикаторы должны быть ранжированы по степени значимости для конкретных условий.

На рисунке 1.2 и в Приложении А диссертационной работы представлен один из подходов к классификации показателей (факторов) внешних и внутренних угроз региональной безопасности. Перечень показателей, приведенных в Приложении А, может быть расширен в зависимости от поставленных целей и решаемых на основе анализа этих показателей задач. В Приложении А также приводятся сведения о том, как измеряются эти показатели и на основе каких источников информации.



Рисунок 1.2 - Классификация показателей региональной безопасности [177]

Согласно результатам исследования [177], недостатком современных систем показателей устойчивого развития РСЭС является то, что они не всегда позволяют проводить прямую оценку качества стратегического и оперативного управления региональным развитием, результаты которой крайне важны при решении задач управления региональной безопасностью.

Специфика внешних и внутренних угроз региональной безопасности требует разработки эффективных методов и технологий оперативного (информационного) и проблемного мониторинга социально-экономической обстановки в регионе. Для этого необходима комплексная автоматизированная система сбора, хранения, обработки и анализа разноплановой информации о состоянии развития РСЭС и ее элементов. Реализация такой системы обеспечит возможность своевременного выявления предпосылок возникновения потенциальных угроз и опасностей, прогнозирование развития кризисных ситуаций различной природы, превентивное реагирование на возникающие проблемы и коллизии в развитии региональных систем.

Для оценки внутренних угроз региональной безопасности используются показатели, краткая характеристика которых приведена в таблице 1.1 [13].

Таблица 1.1 - Группы показателей региональной безопасности

	<b>Наименование группы факторов</b>	<b>Краткая характеристика</b>
1.	Макроэкономические	Оценка влияния макроэкономических и внешнеполитических факторов на развитие РСЭС
2.	Социальные	Оценка состояния социальной сферы региона (в том числе уровня жизни, социальной дифференциации, структуры социальных связей и т.п.)
3.	Демографические	Оценка демографической ситуации
4.	Экономические	Оценка состояния и перспектив развития региональной экономики
5.	Политические	Оценка деятельности оппозиционных партий и движений (включая некоммерческие организации)
6.	Финансовые	Оценка состояния финансовой сферы региона
7.	Институциональные	Оценка отношения населения к органам законодательной и исполнительной власти
8.	Юридические (нормативно-правовые)	Оценка соответствия регионального законодательства интересам различных региональных социальных групп, а также требованиям федеральных законов
9.	Социокультурные	Оценка состояния и развития культуры, науки и образования
10.	Межконфессиональные (межэтнические)	Оценка остроты межэтнических и межрелигиозных проблем, влияния радикальных религиозных течений на население региона
11.	Криминальные	Оценка криминогенной обстановки в регионе
12.	Коммуникативные	Оценка влияния средств инфокоммуникаций на социально-экономическую и политическую обстановку в регионе
13.	Экологические	Оценка состояния окружающей среды, а также возможных природных и техногенных чрезвычайных ситуаций
14.	Производственные	Оценка деятельности и состояния предприятий базовых отраслей региональной экономики

Основная трудность использования приведенных групп факторов в процессе исследования проблем управления региональной безопасности заключается в их причинно-следственной взаимозависимости, многоплановости, нелинейности и динаминости развития взаимосвязей.

Конкретный состав показателей региональной безопасности зависит от целей исследования, а также от используемого инструментария. Определение состава показателей региональной безопасности требует достоверной оценки их значений. С этой точки зрения все множество показателей, отражающих различные стороны региональной безопасности, условно разделяется на три группы [106, 177].

Первая группа показателей региональной безопасности представляет собой множество количественных показателей, которые содержатся в статистической отчетности. Недостатком этой группы показателей является запаздывание, связанное с необходимостью статистической обработки больших объемов исходных данных, поступающих на обработку через некоторый технологический промежуток времени.

Вторая группа включает множество качественных показателей региональной безопасности, которые формируются в результате социологических исследований, экспертных оценок и обобщения данных мониторинга. Состав этой группы показателей не регламентирован и определяется целями проводимых исследований.

Третью группу показателей составляют оперативные данные, поступающие в систему управления в режиме реального времени. Эти данные используются для поддержки принятия оперативных управленческих решений, оценки возникшей кризисной ситуации чрезвычайного характера, требующей незамедлительной реакции, анализа и контроля эффективности реализации антикризисных мероприятий.

Таким образом, процессы управления региональной безопасностью базируются на результатах анализа широкого спектра разнородных взаимосвязанных показателей, позволяющих оценить состояние и тенденции развития РСЭС. Используемый для оценки региональной безопасности набор показателей индивидуален не только для каждого региона, но и в значительной степени зависит от целевых установок управления региональным развитием. При выборе наиболее значимых показателей необходимо учитывать региональные особенности.

## **1.2. Специфика и структура задач информационной поддержки управления региональной безопасностью**

Исследование проблем управления региональной безопасностью проводится применительно к Арктической зоне Российской Федерации (АЗ РФ), имеющей свою собственную специфику и особенности. Специфическими особенностями АЗ РФ

являются экстремальные природно-климатические условия, очаговый характер промышленно-хозяйственного освоения территорий, неразвитость инфраструктуры, низкая плотность населения, удалённость от основных промышленных центров, высокая ресурсоёмкость и зависимость от других регионов России и зарубежных партнёров, низкая устойчивость экологических систем. Специфики добавляет и перегруженность территории объектами оборонно-промышленного комплекса. Эти факторы в совокупности обуславливают уязвимость региональных систем АЗ РФ в плане возникновения разнотипных чрезвычайных и кризисных ситуаций.

АЗ РФ играет особую роль в национальной экономике и устойчивом развитии северных и других регионов страны. АЗ РФ отличают выгодные транспортно-географические условия, в частности, Северный морской путь, значительные запасы углеводородов и широкий спектр минерального, в том числе стратегического сырья, а также морских биологических ресурсов. В современных условиях АЗ РФ становится объектом сферы национальных интересов ведущих мировых держав: США, Норвегии, Канады, Китая и других (рисунок 1.3).

**Арктическая зона РФ – объект сферы национальных интересов ведущих мировых держав (Россия, США, Канада, Норвегия, Дания, Китай, Япония и др.)**



Рисунок 1.3 – Угрозы национальным интересам России в Арктике

АЗ РФ, включая морскую экономическую зону и континентальный шельф, превышает 30% территории страны. В эту зону полностью или частично входят

территории Республики Саха (Якутия), Мурманской и Архангельской областей, Ненецкого, Ямало-Ненецкого, Таймырского и Чукотского автономных округов, а также земли и острова, расположенные в Северном Ледовитом океане [27].

Пилотным полигоном диссертационного исследования является Мурнская область, как наиболее изученный арктический регион АЗ РФ, стратегически значимый с точки зрения своего геополитического и геоэкономического положения, роли в обеспечении обороноспособности страны, запасов природных ресурсов.

Мурнская область характеризуется высоким образовательным уровнем населения, развитой системой подготовки кадров и научно-инновационным комплексом, ядром которого является Кольский научный центр Российской академии наук, тесно кооперирующийся в своих исследованиях с производством и центральными академическими и ведомственными научными организациями.

Отметим особенности региона, важные для вопросов безопасности. Практически вся территория находится за полярным кругом в суровых природно-климатических условиях. Область расположена на пересечении международных морских торговых путей. Пограничное положение имеет военно-стратегическое и экономическое значение. Региональная система перегружена объектами оборонно-промышленного комплекса. Заметную роль играют внешние связи, как с субъектами Федерации, так и с иностранными партнерами. Регион сильнее, чем многие другие регионы РФ, зависит от внешних факторов. К ним относятся глобальные процессы (определяющие уровень цен на апатит, никель, алюминий, медь), снабжение продуктами питания (большая доля импорта), доставка топлива, финансовое обеспечение, пропускная способность транспортных магистралей. Область характеризуется исторически сложившимся небольшим числом развитых (регионаобразующих) отраслей (минерально-сырьевая база - горнопромышленный комплекс, рыбопромысловая база, оборонно-промышленный комплекс, энергетика), наличием градообразующих предприятий. Для Мурманской области наиболее значимыми компонентами региональной безопасности являются экономическая, промышленно-экологическая, социальная, кадровая и инновационная безопасность.

Основными причинами низкой эффективности управления региональной безопасностью Арктической зоны России, включая Мурманскую область, являются:

- децентрализованный характер управления региональной безопасностью;

- отсутствие единой системы организационного управления региональной безопасностью, в том числе развитой информационной инфраструктуры региональной безопасности, обладающей способностью адаптации к динамически изменяющимся условиям социально-экономической среды региона;
- сложность и, в некоторых случаях, невозможность координации взаимодействия организационно разнородных и территориально распределенных субъектов управления безопасностью на разных уровнях принятия решений;
- многообразие и изолированное использование методов и средств автоматизации процессов обеспечения региональной безопасности на разных уровнях управления;
- фрагментарный характер организационных и технических регламентов межведомственного информационного взаимодействия в условиях кризисных ситуаций и отсутствие единого паспорта региональной безопасности.

Информационная среда региональной безопасности является одним из важнейших компонентов инфраструктуры безопасности региона. Это обусловлено тем, что на стратегическом, тактическом и оперативном уровнях управления региональным развитием требуется адекватная информационно-аналитическая поддержка и координация процессов выработки и реализации управленческих решений на всех этапах жизненного цикла региональных кризисных ситуаций – от зарождения и идентификации потенциальных угроз безопасности до антикризисного реагирования и ликвидации последствий.

Таким образом, для повышения эффективности сетевентрического управления региональной безопасностью необходимо наличие адекватной информационной поддержки управления развитием и функционированием РСЭС. Это обеспечивается посредством создания целостной многофункциональной информационной среды региональной безопасности. Под *информационной поддержкой управления* понимается обеспечение субъектов управления необходимой, специально подготовленной информацией для выработки и реализации эффективных управленческих решений, а также средствами ее аналитической обработки.

Для удовлетворения актуальным требованиям к информационному обеспечению региональной безопасности информационная среда должна быть целостной в смысле охвата всех этапов жизненного цикла угроз региональной безопасности, расширяемой и наделенной потенциалом к саморазвитию. Для создания подобных информационных сред необходимы соответствующие методы и средства получения, интеграции, обработки и анализа информации, обеспечивающие:

- формализованное представление знаний о предметной области, как основу для автоматизации отдельных аспектов управления региональной безопасностью;
- логическую интеграцию разнородных информационных ресурсов и сервисов;
- формирование и динамическое конфигурирование многоуровневых систем информационной поддержки сетевентрического управления с активными элементами и перестраиваемой структурой;
- мониторинг жизненного цикла угроз региональной безопасности;
- моделирование развития региональных кризисных ситуаций;
- координацию сетевентрического управления региональной безопасностью на всех уровнях принятия решений.

Управление региональной безопасностью и его информационная поддержка по своей структуре многофункциональны и в общем случае включает в себя такие функции управления, как целеполагание, стратегическое планирование, оперативное управление, а также функции контроля, учета, мониторинга и координации. Поэтому информационная поддержка управления региональной безопасностью является сложной, многоаспектной задачей.

Во-первых, это обусловлено сложностью самого объекта информационной поддержки – процессов сетевентрического управления региональной безопасностью.

Во-вторых, региональная безопасность имеет общие черты с другими видами безопасности (национальной, международной, глобальной и др.), но отличается множественностью форм проявления, учитывающих специфические особенности конкретных регионов. Поэтому специфика проблемы информационного обеспечения региональной безопасности во многом определяется региональными особенностями.

В-третьих, управление региональной безопасностью представляет собой сложный многоэтапный процесс. На каждом этапе задействованы разнотипные субъекты управления (государственные службы, системные аналитики, менеджеры,

военные, эксперты и т.д.), имеющие различную организационную подчиненность и ведомственную принадлежность. Субъекты преследуют собственные цели с учетом их сферы интересов и обладают разными компетенциями для решения задач по обеспечению безопасности региона. Процессы обеспечения региональной безопасности разнородны по динамике и составу участников. Субъекты управления безопасностью, вовлеченные в эти процессы, как правило, территориально распределены и организационно разнородны. Следствием этого является отсутствие, в общем случае, единого, централизованного управления региональной безопасностью, структурная разнородность субъектов управления. Эти условия создают предпосылки для того, чтобы информационная среда региональной безопасности была интероперабельной и децентрализованной.

При проектировании такой структуры и системы управления на задачи администрирования в плоскости информационного обеспечения региональной безопасности заметно сужается круг потенциально применимых архитектур информационных систем. В такой ситуации, в общем случае, уже не всегда применимы архитектуры и технологии корпоративных информационных систем, ориентированные на централизованное администрирование, хранение и обработку данных. Это обстоятельство затрудняет возможность использования для информационной поддержки управления региональной безопасностью существующих технологий централизованных информационных систем, являющихся, как правило, основой организации функционирования распределенных ситуационно-кризисных центров, в силу того, что последние подразумевают организацию пользователей в жесткую иерархическую структуру. Альтернативным решением является применение одноранговых архитектур, для которых характерны свойства открытости и расширяемости, а также потенциал самоорганизации [149].

Для повышения эффективности функционирования децентрализованной информационной среды региональной безопасности необходимо, с одной стороны, обеспечить качественные высокоскоростные коммуникации, а с другой – организовать адресный информационный обмен, то есть обеспечить получение той или иной информации только заинтересованными в ней субъектами. Это позволит снизить общий объем циркулирующей в распределенной среде информации и, следовательно, уменьшить нагрузку на реализующие ее программно-технические

элементы. Одним из способов решения такой задачи является организация в распределенной информационной среде виртуальных управляющих центров [59, 78], в пределах которых концентрируется информационный обмен между близкими по сфере интересов, компетенциям и профилю деятельности субъектами.

Еще одним следствием разнородности и территориальной распределенности субъектов управления региональной безопасностью является технологическая и семантическая неоднородность информационной среды региональной безопасности. Для информационной поддержки управления региональной безопасностью характерна высокая степень не только технологической (использование различных форматов хранения, представления и обмена данными, разных СУБД и структур баз данных и т.д.), но и семантической разнородности информационных ресурсов (использование профильными ведомствами собственных тезаурусов и процедур, синонимия в именовании информационных объектов, использование различных оценочных шкал, и т.п.). Вместе с тем, в процессах управления региональной безопасностью участвуют специалисты из различных предметных областей, пользующиеся различной терминологической базой, использующие существенно отличные ментальные модели одних и тех же понятий и процессов. Источником же технологической неоднородности информационно-вычислительных ресурсов является организационная разнородность субъектов управления безопасностью, которые, как правило, к моменту начала совместной деятельности уже имеют и используют свои собственные, отличные по архитектуре и используемым технологиям, информационные поддерживающие инфраструктуры. Эти особенности, зачастую, препятствуют формированию единого информационного пространства межведомственной деятельности в сфере управления региональной безопасностью. Решение проблем технологической и семантической неоднородности совместно используемых информационно-вычислительных ресурсов при решении задач информационной поддержки управления региональной безопасностью достигается на основе применения агентных технологий и онтологий.

Динамичность структуры и состава информационной среды региональной безопасности, децентрализация и разнородность образующих ее элементов, с одной стороны, и необходимость формирования единого информационного поля для согласованного взаимодействия по вопросам обеспечения безопасности – с другой,

характеризуют эту среду как сетевентрическую систему. Такая сетевентрическая среда синтезируется на базе объединения многоуровневых систем управления региональной безопасностью. Сетевентричность предполагает сетевую структуру организационного управления с выделенными управляющими центрами. Это добавляет проблеме информационного обеспечения региональной безопасности дополнительные, нетрадиционные для существующих научно-методических и технологических решений аспекты.

В условиях децентрализованного принятия решений и многокритериальности решаемых задач на разных уровнях управления безопасностью региона необходимо обеспечивать координацию совместной деятельности субъектов безопасности в процессе оптимизации показателей региональной безопасности с учетом различий в целеполагании управляющих субъектов. Координация сетевентрических решений - важная задача информационной поддержки управления региональной безопасностью.

Необходимость координации деятельности субъектов безопасности на всех уровнях управления в условиях пространственно-временных и ресурсных ограничений предъявляет высокие требования к качеству информационного обеспечения региональной безопасности. Для удовлетворения этим требованиям информационная среда безопасности региона должна строится на базе технологий, обеспечивающих ее расширяемость, проактивность, способность к самоорганизации и саморазвитию, совмещению свойств открытости и информационной защищенности, а также достаточный уровень автономности и интероперабельности интегрируемых в ее рамках компонентов региональных информационных систем.

Все это повышает роль информационной поддержки управления региональной безопасностью, заключающейся не только в сборе и предоставлении информации для поддержки принятия управленческих решений в этой сфере, но и в использовании средств ее предварительного анализа и обработки для координации и автоматизации деятельности субъектов безопасности в условиях децентрализованного управления.

На основании вышесказанного можно констатировать следующую ситуацию в сфере информационного обеспечения региональной безопасности. С одной стороны, спектр современных методов и средств, эффективно используемых изолированно друг от друга для решения ограниченного круга задач информационной поддержки управления региональной безопасностью, является весьма разнообразным. При этом

ни одно из существующих решений не адресует проблему в комплексе. С другой стороны, использование системного подхода к решению обозначенной проблемы содержит в себе потенциал для повышения эффективности сетецентрического управления в целом, который в настоящее время практически не используется.

Как объект управления и объект информационной поддержки региональная безопасность имеет ряд и других специфических особенностей. К ним относятся:

- различная природа и скрытый характер внешних и внутренних угроз региональной безопасности, снижающие оперативность решения задач мониторинга, системной оценки и координации показателей региональной безопасности;
- наличие слабо формализуемых и трудно поддающихся автоматизации начальных этапов жизненного цикла угроз региональной безопасности, включающих зарождение и развитие потенциальных угроз и опасностей, а также проведение упреждающих диагностирующих мероприятий;
- длительный жизненный цикл и отложенность во времени результирующих воздействий потенциальных угроз региональной безопасности, выражающихся в возникновении труднопрогнозируемых чрезвычайных и кризисных ситуаций.

В общем случае для решения проблемы сетецентрического управления региональной безопасностью и повышения его эффективности необходимо как методическое, так и информационное обеспечение (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4. - Методическое и информационное обеспечение для решения задач управления региональной безопасностью

*Методическое обеспечение* управления региональной безопасностью, представляет собой совокупность как уже существующих, так и разрабатываемых в настоящее время методов и средств информационного мониторинга и оперативной аналитической обработки «сырых» и архивных данных, в том числе информации, поступающей в режиме реального времени. Методическое обеспечение, в основном, включает в себя методы и средства поддержки принятия решений, а также средства автоматизации отдельных функций управления региональной безопасностью.

*Информационное обеспечение* управления региональной безопасностью. Для эффективной информационной поддержки процессов принятия решений на разных уровнях управления региональной безопасностью необходимы соответствующие информационные ресурсы и сервисы. Информационные ресурсы играют роль своего рода «сырого материала», из которого путем адекватной переработки на основе соответствующих сервисов можно получать новые данные и знания, необходимые для обоснованного выбора и претворения в жизнь оперативных и стратегических решений по управлению региональной безопасностью в кризисных ситуациях.

Современные подходы к информационному обеспечению региональной безопасности в основном ограничены созданием мониторинговых информационно-аналитических систем и систем поддержки принятия решений в кризисных ситуациях для региональных ситуационных центров, а также веб-ресурсов, обеспечивающих субъектам управления доступ к информационно-справочным материалам и нормативным документам на основе современных информационных технологий. Эти ресурсы интегрируют в себе большие объемы разноплановой информации по различным аспектам безопасности региона (характеристика критической инфраструктуры, объекты безопасности, потенциальные угрозы, инциденты, события, кризисные ситуации, планы совместных действий, состав участников кризисного реагирования, регламенты взаимодействия, паспорта безопасности и т.д.), но, как правило, не связаны между собой, эксплуатируются разными ведомствами, разнородны по технологиям реализации и семантике содержимого.

Для совокупного использования ресурсов пользователь должен многократно повторять процедуры согласования доступа к интересующей его информации, регистрации и поиска данных в каждой ведомственной информационной системе в отдельности и т.п. При этом низкий уровень интероперабельности интегрируемых

компонентов ведомственных информационных систем, а также частичная автоматизация процедур поиска исполнительных ресурсов (субъектов совместной деятельности) и формирования организационных структур управления безопасностью в разнотипных кризисных ситуациях приводит к тому, что в условиях большого суммарного объема информации, необходимой для поддержки принятия оперативных и стратегических управленческих решений, практическая ценность поисковых и мониторинговых функций, в особенности на ранних этапах жизненного цикла угроз региональной безопасности, существенно снижается.

Информационное обеспечение не ограничивается простым накоплением все больших и больших объемов разноплановой информации о потенциально возможных региональных кризисных ситуациях и угрозах безопасности, а включает множество программных средств и сервисов для обработки и анализа этих данных. При этом в условиях высокой динамики внешних и внутренних факторов региональной безопасности данные о ситуации, как правило, являются слабоструктурированными и неполными.

Структурирование проблемы исследования проводится в соответствии с задачами информационной поддержки, возникающими на трех уровнях управления региональной безопасностью: стратегическом, оперативном и тактическом. В рамках оперативного уровня управления выделены оперативно-стратегический и оперативно-тактический уровни. В силу очевидных и весьма существенных различий во внутренней структуре и локальной целенаправленности процессов, протекающих на разных стадиях развития региональных кризисных ситуаций, существенно отличаются и требования к средствам информационной поддержки на различных уровнях управления региональной безопасностью.

Перечислим основные задачи информационного обеспечения региональной безопасности, решаемые на каждом из выделенных уровней управления.

На *стратегическом уровне* управления региональной безопасностью решаются следующие задачи информационной поддержки:

- 1) управление знаниями о разнородных объектах и процессах обеспечения безопасности;
- 2) управление компетенциями субъектов безопасности, участвующих в этих процессах;

- 3) формирование организационных структур управления безопасностью в условиях разнотипных кризисных ситуаций;
- 4) формирование сети центров организационного управления региональной безопасностью.

Основной задачей на этом уровне является формирование организационных структур управления безопасностью, обеспечивающих реализацию наилучшего плана антикризисных мероприятий для конкретных региональных кризисных ситуаций с учетом стоимостных затрат, пространственно-временных и ресурсных ограничений.

*Оперативно-стратегический уровень* управления региональной безопасностью предполагает решение следующих задач информационной поддержки:

- 1) сценарный анализ возможных вариантов развития кризисных ситуаций и оценка результативности реализации антикризисных мероприятий;
- 2) синтез сценариев управления и реализация управления «точно в срок»;
- 3) реконфигурация сети центров управления региональной безопасностью.

*Оперативно-тактический уровень* управления включает следующие задачи:

- 1) информационный мониторинг потенциальных угроз и опасностей;
- 2) оценка эффективности организационных структур управления безопасностью;
- 3) реконфигурация организационных структур управления безопасностью.

На *тактическом уровне* решаются задачи, связанные непосредственно с управлением кризисными ситуациями, выбором участников (акторов) и исполнительных ресурсов, необходимых для локализации угроз безопасности или кризисных ситуаций, а также формированием и согласованием планов совместных действий. Основной задачей на этом уровне управления является анализ профиля деятельности субъектов управления безопасностью. Это необходимо для определения соответствия их компетенций и возможностей участия в процессах обеспечения региональной безопасности в условиях возникновения разнотипных кризисных ситуаций. При этом спецификации кризисных ситуаций должны быть декомпозированы на подзадачи и распределены между субъектами управления безопасностью. В рамках этой задачи осуществляется подбор (композиция) компетенций субъектов управления безопасностью, представляющих собой совокупность предоставляемых ими ресурсов и услуг (сервисов), которые могут быть использованы в процессах обеспечения региональной безопасности.

На концептуальном уровне жизненный цикл угроз региональной безопасности представляет собой процесс развития кризисных ситуаций и включает совокупность взаимосвязанных этапов: зарождение угрозы, развитие угрозы, инициализация угрозы, воздействие угрозы, регенерация с возможным порождением новой угрозы.

Стадии жизненного цикла угроз региональной безопасности охватывают различные состояния РСЭС, ее элементов и подсистем, начиная с момента возникновения угрозы безопасности развития системы и заканчивая её воздействием на критическую область РСЭС и регенерацией, либо устранением угрозы на начальном этапе зарождения на основе превентивных (упреждающих) мероприятий (мониторинг, анализ, прогноз общей ситуации).

Угрозы, соответственно, порождают разнотипные кризисные ситуации.

*Кризисная ситуация* – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате возникновения и влияния опасных явлений социально-экономического, геополитического, техногенного или природного характера, которая повлекла за собой изменение состояния региональной экономики, социальную нестабильность, экологические проблемы, значительные материальные потери, угрожающие безопасности развития региона и нормальной деятельности государственных и общественных институтов. В работах [11, 175] предложено качественное описание основных видов и критериев кризисных ситуаций в регионах.

Все виды региональных кризисных ситуаций объединяет важная деталь – процесс зарождения каждой из них является скрытым (неочевидным) и, как правило, начинается в нормальных условиях в результате накопления противоречий, источников уязвимостей и угроз, дефектов и постепенной деградации системы.

По динамике развития региональные кризисные ситуации классифицируются следующим образом:

- *медленно развивающиеся кризисные ситуации* – это ситуации, когда имеется достаточно большой резерв времени для принятия управлеченческих решений и реализации превентивного управления развитием кризисной ситуацией;
- *быстро протекающие кризисные ситуации* – ситуации, скорость нарастания и распространения которых ограничена, что создает резерв времени на выработку и реализацию управлеченческих решений, направленных на стабилизацию ситуации или снижение нанесенного ущерба;

- *мгновенные кризисные ситуации*, когда отсутствует резерв времени для принятия оперативных решений ситуационного управления.

В работе рассматриваются преимущественно быстро протекающие и медленно развивающиеся кризисные ситуации, как наиболее типичные для РСЭС.

Жизненный цикл управления кризисной ситуацией содержит следующие фазы: идентификация угроз безопасности, планирование антикризисных мероприятий, кризисное реагирование, ликвидация последствий (восстановление).

Жизненный цикл угроз региональной безопасности и развития кризисных ситуаций охватывает все уровни управления, на каждом из которых требуется решение соответствующих задач информационной поддержки (рисунок 1.5).

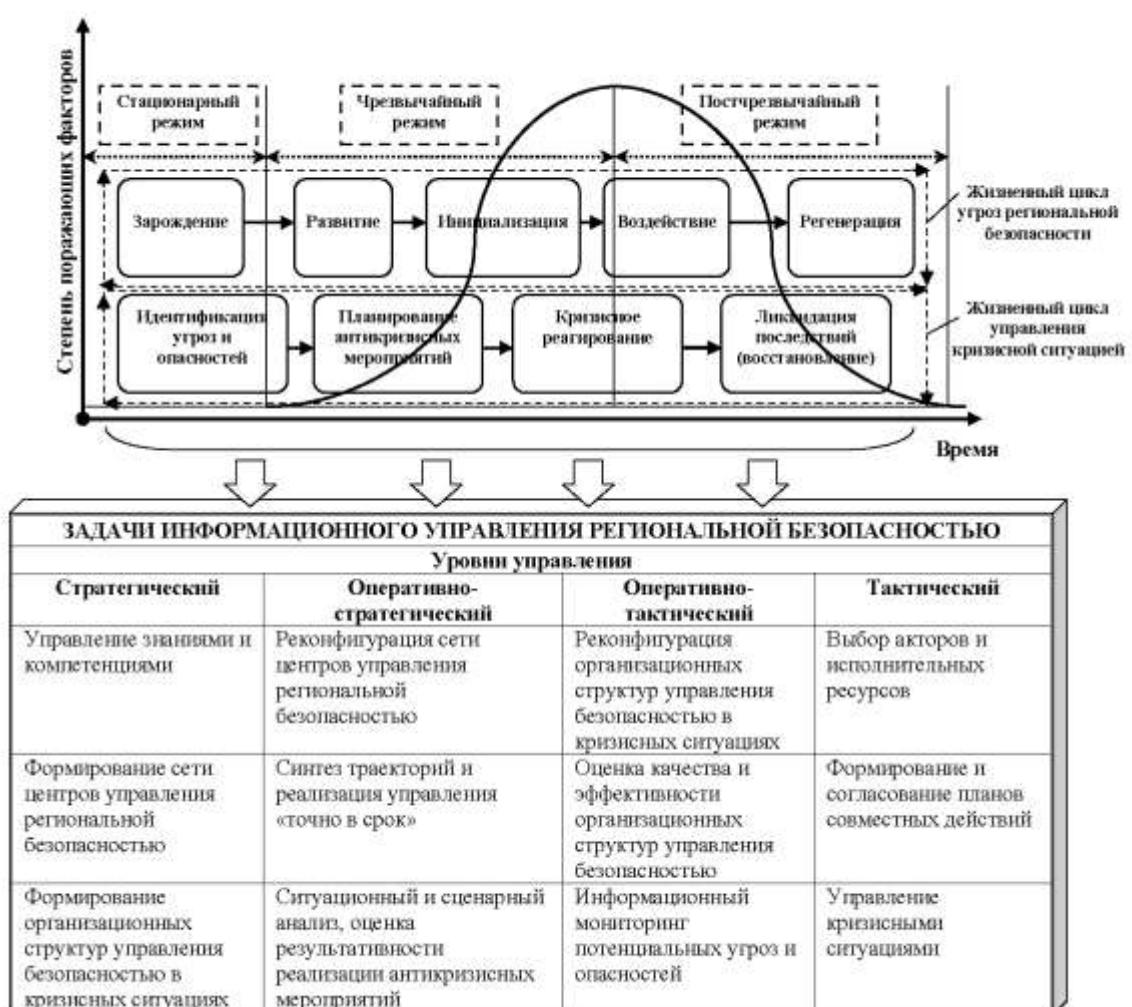


Рисунок 1.5 – Этапы жизненного цикла угроз региональной безопасности и задачи информационной поддержки

Наиболее сложным является начальный период зарождения и развития кризисных ситуаций. Этот этап является плохо формализуемым и трудно

прогнозируемым в силу неочевидного (скрытого) характера угроз и их проявлений. В связи с этим, на этой начальной стадии жизненного цикла задача информационной поддержки выглядит наиболее расплывчата. На этапе зарождения угрозы, зачастую, даже не существует конкретного объекта информационной поддержки.

На этой начальной стадии жизненного цикла облик кризисной ситуации еще не сформировался, и главная задача информационного обеспечения заключается в создании наиболее адекватной среды для противодействия развитию потенциальных угроз и опасностей. Известным подходом к решению этой задачи является использование методов и средств информационного и проблемного мониторинга социально-экономической обстановки в регионе с привлечением экспертного сообщества, на основе социологических опросов, сценарного анализа, анализа архивных статистических данных, а также с применением современных средств инфокоммуникаций - социальных сетей. Роль информационной поддержки на данном этапе достаточно высока: современные компьютерные технологии обеспечивают сбор, автоматизированную обработку и анализ больших объемов разноплановой информации для выявления потенциальных угроз безопасности РСЭС и поддержки принятия адекватных сложившейся ситуации управлеченческих решений на основе этой информации. Вместе с тем, обеспечивается возможность создания виртуальных анализаторов (мониторов) - аналогов центров управления в кризисных ситуациях и центров мониторинга социально-экономического развития на базе мониторинговых информационно-аналитических систем, облачных, агентных и веб-технологий. Эти виртуальные аналоги, по сравнению со своими реальными объектами, хотя и теряют отдельные аспекты своей функциональности вследствие виртуализации, но взамен обеспечивают на порядки большие аналитические возможности, экономию ресурсов и снижение затрат, увеличивают потенциальное количество субъектов управления и экспертов, участвующих в процессах обеспечения региональной безопасности, обеспечивают интеграцию и обработку коллективных экспертных знаний с последующим синтезом на их основе новых знаний, что крайне важно для реализации адекватной информационной поддержки управления региональной безопасностью и повышения его эффективности в условиях децентрализованного принятия решений.

В настоящее время информационная поддержка данной фазы жизненного цикла, как правило, сводится в основном к созданию и поддержанию в актуальном

состоянии различных баз данных ведомственных информационных систем, мониторинговых информационно-аналитических систем ситуационно-кризисных центров, а также информационно-справочных веб-ресурсов, содержащих семантически и организационно разнородную, часто слабоструктурированную информацию об источниках потенциальных угроз и опасностей, кризисных ситуациях и их параметрах, планах антикризисных мероприятий, показателях безопасности, объектах и процессах обеспечения безопасности. Как правило, эти средства информационной поддержки используются изолированно друг от друга и принадлежат разным ведомствам (субъектам управления безопасностью). Подобные информационные ресурсы, несомненно, играют важную положительную роль в информационной поддержке управления региональной безопасностью на ранних стадиях развития кризисных ситуаций. Однако их использование подразумевает активный поиск информации со стороны субъектов управления безопасностью. Наличие у последних достаточно сильной мотивации к поиску необходимой информации для принятия эффективных управленческих решений появляется чаще всего уже после зарождения угрозы и претворения кризисной ситуации в жизнь. Таким образом, ведомственные и мониторинговые информационные системы обеспечивают, в большей степени, поддержку второго этапа жизненного цикла угроз региональной безопасности, когда осуществляется целенаправленный предметный поиск субъектов совместной деятельности, ресурсов и путей разрешения развивающихся кризисных ситуаций.

На остальных этапах жизненного цикла угроз региональной безопасности в основном решаются две группы задач информационной поддержки:

1. Задачи планирования и оперативного управления процессами обеспечения безопасности в кризисных ситуациях (ПОБ КС). На этапах планирования и оперативного управления ПОБ КС также решаются задачи синтеза и анализа ПОБ КС. Задача синтеза состоит в выборе на множестве альтернативных ПОБ КС наилучшей конфигурации ПОБ КС (состава исполнителей и плана антикризисных мероприятий) с учетом параметров кризисных ситуаций (источники угроз, степень опасности, потери, ущерб, время реагирования, требуемые ресурсы и т.д.), а также характеристик доступных в данный момент времени компетенций субъектов управления безопасностью (имеющиеся в наличии исполнительные ресурсы: техника,

люди, информация, финансы, материальные затраты и т.д.). Задача анализа плана ПОБ КС состоит в проверке его выполнимости в реальных условиях функционирования. Задача оперативного управления ПОБ КС состоит из задач оперативного анализа (мониторинга) кризисной ситуации и реконфигурирования (синтеза нового структурно-функционального облика ПОБ КС) в случае изменения параметров кризисной ситуации в результате воздействия внешних факторов. Задача мониторинга состоит как можно в более раннем распознавании кризисных ситуаций и их источников, которые могут привести к отклонениям в функционировании РСЭС.

2. Задачи моделирования и автоматизации ПОБ КС. Задача моделирования ПОБ КС заключается в создании и исследовании моделей ПОБ КС с целью прогнозирования динамики показателей безопасности, анализа сценариев развития кризисных ситуаций и оценки результативности реализации антикризисных мероприятий для конкретных условий. Задача автоматизации ПОБ КС состоит в разработке методов и средств получения, обработки и анализа информации для стратегического и оперативного управления кризисными ситуациями.

Эффективность использования информационно-вычислительных ресурсов ведомственных информационных систем для задач управления региональной безопасностью может быть увеличена за счет обеспечения совместного использования территориально распределенных разнородных информационных баз и частичной автоматизации обработки содержащихся в них данных. Современным средством решения задачи автоматизированной интеллектуализированной обработки разнородной информации из различных источников являются агентные технологии [20]. Программные агенты, будучи способными к целенаправленным активным действиям от лица своих владельцев, позволяют автоматизировать не только предметный поиск информации в разнородных территориально рассредоточенных источниках данных, но и обеспечивают возможность оценки потенциальных угроз региональной безопасности в многомерном пространстве критериев, а также поиск решений в условиях нечеткой постановки задачи, создавая тем самым возможность частичной автоматизации процесса управления региональной безопасностью.

Важной проблемой, которую необходимо решить для успешного использования агентных технологий автоматизированной обработки информации, является семантическая неоднородность информационных ресурсов, необходимых

для задач информационной поддержки управления региональной безопасностью. Эффективным средством описания и анализа семантики разнородных ресурсов являются сетевые модели представления знаний [16], в частности, онтологии [131] и концептуальное моделирование предметной области [40].

Различные задачи информационной поддержки определяют и различие используемых на разных этапах жизненного цикла угроз региональной безопасности методов, модельного инструментария, информационных технологий и средств автоматизации. Соотношение фаз развития региональных кризисных ситуаций с задачами и технологиями информационной поддержки приведено на рисунке 1.6.

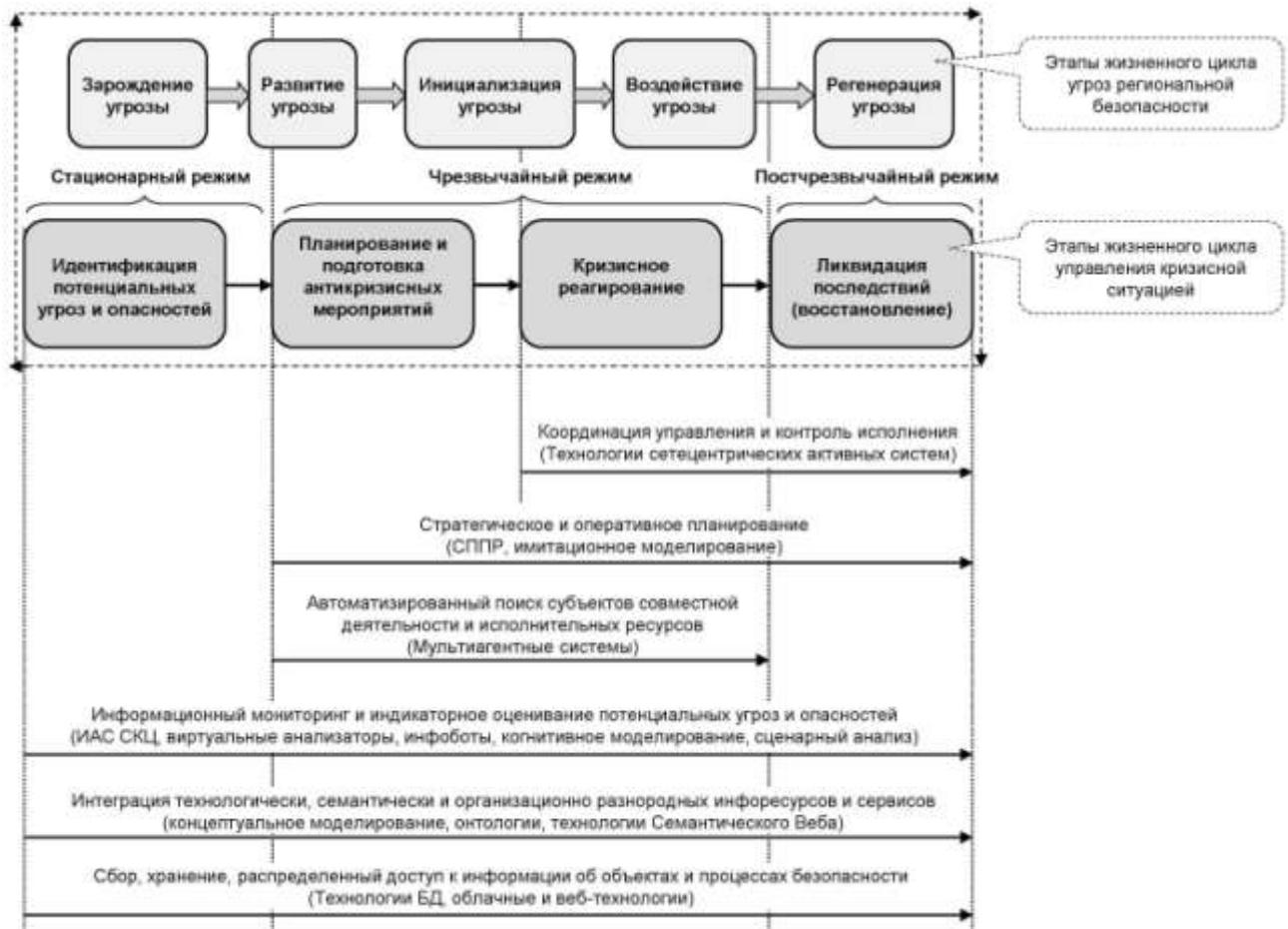


Рисунок 1.6 - Соотношение фаз развития региональных кризисных ситуаций с задачами и технологиями информационной поддержки

Таким образом, задачи информационного обеспечения региональной безопасности пронизывают все уровни управления (стратегический, оперативно-стратегический, оперативно-тактический и тактический) и могут быть выделены в отдельную категорию. Информационная поддержка управления региональной безопасностью является одним из наименее исследованных подходов в управлении

социально-экономическими системами. Это перспективная предметная область, появление которой обусловлено прогрессом как в развитии новых организационных форм управления сложными слабоструктуризованными системами различной природы, так и прогрессом в сфере информационных технологий, которые позволяют на сегодняшний день говорить о возможности решения проблемы сетевентрического управления безопасностью региональных социально-экономических систем.

### **1.3. Современные средства и технологии информационной поддержки управления региональной безопасностью**

В настоящее время создано большое количество ресурсов и технологий, обеспечивающих информационно-аналитическую поддержку ряда задач в области управления региональной безопасностью. Большинство из них реализовано в виде мониторинговых информационно-аналитических систем, систем поддержки принятия решений в кризисных ситуациях, а также веб-ресурсов, обеспечивающих субъектам управления доступ к информационно-справочным ресурсам и нормативным документам на основе соответствующих информационных технологий.

Вместе с тем, для решения задач информационного обеспечения региональной безопасности сегодня используются следующие средства:

- 1) Мониторинговые информационно-аналитические системы в составе ситуационно-кризисных центров (ИАС «Дипломат», ИАС «Истра-2006», ИАС «Ангара», ИАС «Прогноз МК», ЭС ППРКС и др.);
- 2) Региональные информационно-прогностические центры;
- 3) Системы мониторинга социально-экономического развития;
- 4) Информационно-аналитические системы кризисного реагирования (реализуются на базе Центров управления в кризисных ситуациях МЧС России);
- 5) Геоинформационные системы в составе региональных ситуационно-кризисных центров (ГИС «ArcGIS», ГИС INTERGRAPH «GeoMedia Professional», ГИС «Карта 2005», ГИС «Панорама», программный комплекс визуального анализа «ПФС-ГЕОАНАЛИЗ», специальная ГИС для морских пространств «CARIS LOTS Article 76» и др.);
- 6) Глобальные и региональные спутниковые системы навигации и пространственного позиционирования (американская система GPS-NAVSTAR,

российская система *ГЛОНАСС*, спутниковая система навигации *GALILEO*, индийская спутниковая региональная система навигации *IRNSS*, китайская навигационная спутниковая система *Beidou/Compass*, японская навигационная система *Quasi-Zenith (QZSS)* и др.);

7) Информационно-справочные арктические веб-ресурсы - Интернет-порталы (*Arctic Info*, *Pro-Arctic*, *The Arctic*, *Arctic Portal*, *Arctic Council*, *BarentsWatch* и др.);

8) Комплексные автоматизированные информационные системы мониторинга общественной безопасности региона (*Система-112*, КАС «Безопасный город», ЭРА-*ГЛОНАСС* и др.).

Современные отечественные и зарубежные системы информационной поддержки управления региональной безопасностью разрабатываются под конкретные задачи - например, связанные с управлением метеорологической, энергетической, экологической или транспортной безопасностью региона, и, как правило, используются изолированно друг от друга. Некоторые из них являются открытыми и находятся в свободном доступе в части исследовательских прототипов и веб-ресурсов, другие – предоставляют доступ к информационным сервисам на коммерческой основе. К закрытым системам, как правило, относятся информационные системы профильных ведомств в сфере обеспечения различных видов безопасности на разных уровнях регионального управления.

Перечисленные типы систем являются территориально распределенными, разнородными по своей технологической платформе, функциональному назначению и компонентному составу. Большинство из них имеют централизованную архитектуру и различную ведомственную принадлежность. Указанные особенности обуславливают их слабую интегрируемость и невозможность совместного использования для комплексного решения задач управления региональной безопасностью в рамках единой информационной среды, ориентированной, главным образом, на обеспечение согласованного взаимодействия организационно разнородных субъектов управления безопасностью на разных уровнях принятия управленческих решений.

Анализ показывает, что на сегодняшний день оптимальными инструментами информационного мониторинга безопасности регионального социально-экономического развития и кризисного реагирования являются ситуационные центры

[41, 46, 118]. Информационная поддержка реализации «Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» осуществляется при координирующей роли Совета Безопасности РФ за счет привлечения информационных ресурсов заинтересованных органов государственной власти и государственных научных учреждений с использованием системы распределенных ситуационно-кризисных центров (СКЦ) [19].

На рисунке 1.7 представлена обобщенная структура и состав сети ситуационно-кризисных центров Российской Федерации.

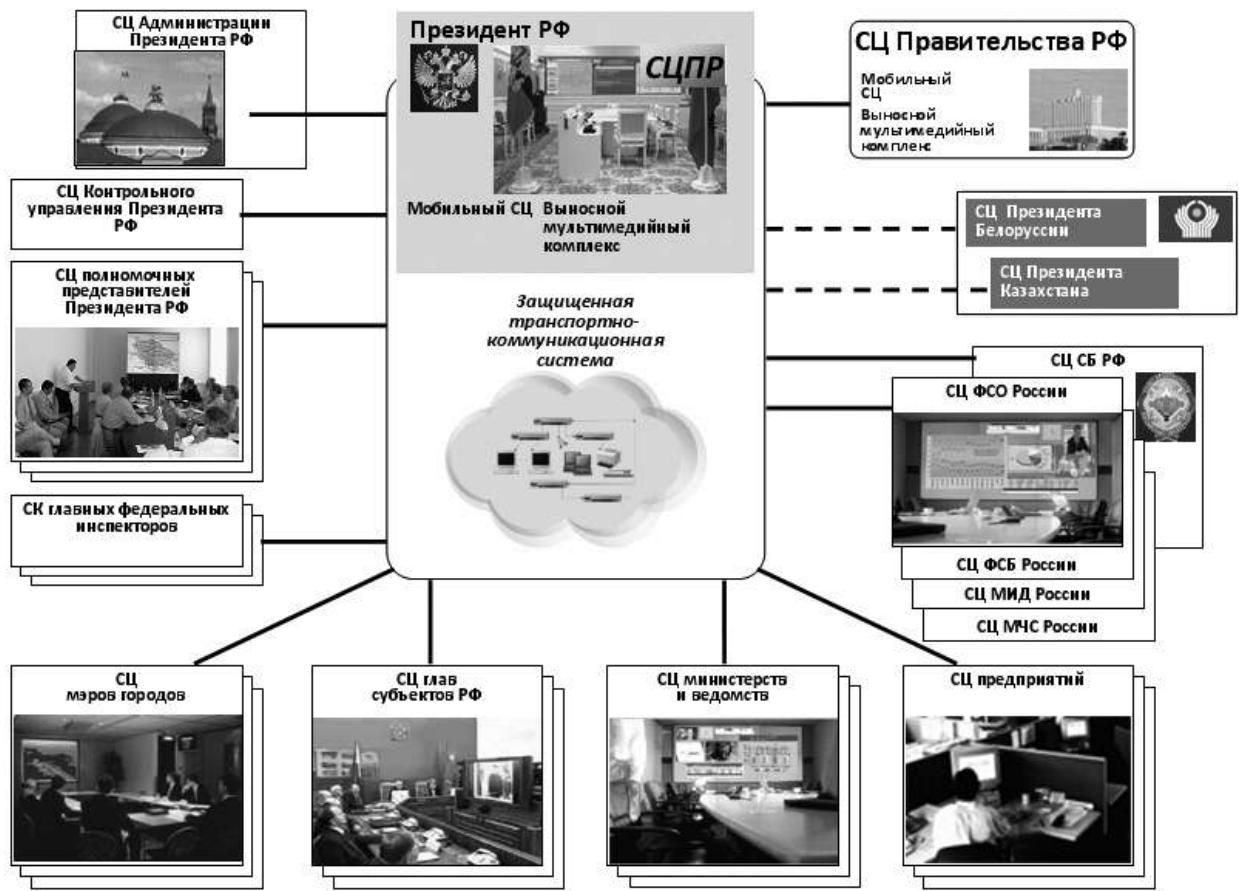


Рисунок 1.7 - Структура и состав сети ситуационно-кризисных центров РФ

Однако технологии организации функционирования и информационного взаимодействия действующих СКЦ имеют ряд слабых сторон [84]:

- поддержка принятия решений на основе ретроспективной информации и архивных отчетных материалов;
- технологическая и организационная разнородность функциональных и информационных компонентов СКЦ;

- отсутствие единого регламента информационного взаимодействия и обмена данными в силу организационной разнородности источников оперативной информации;
- централизованная архитектура используемых информационно-аналитических систем;
- необходимость автоматизированного выбора и реализации методов и средств анализа и обработки данных в условиях известных источников первичной информации для информационной поддержки принятия решений в кризисных ситуациях;
- реализация проблемного мониторинга состояния исследуемой системы в режиме, частично приближенном к реальному времени, что снижает оперативность поддержки принятия решений, например, в случае возникновения чрезвычайных ситуаций;
- необходимость ориентации СКЦ на различные категории пользователей (реализация концепции «user as an expert» [169]).

Вместе с тем, существуют и другие проблемы использования СКЦ, касающиеся отсутствия четкого определения СКЦ в системе государственного управления, его организационно-функциональной структуры, методического и информационного обеспечения, а также отсутствия средств координации процессов принятия решений в условиях децентрализованного управления безопасностью.

Развитием современных технологий построения и организации работы СКЦ является методология создания и использования когнитивных центров, как информационных систем для стратегического прогнозирования развития РСЭС [46]. Прототип системы проектирования будущего на основе использования когнитивных центров реализован в Центре компьютерного моделирования и экспертного анализа Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. Когнитивный центр обеспечивает поддержку управления развитием сложных децентрализованных систем, таких как регион, территория, отрасль, предприятие. Основу когнитивного центра составляет метод вычислительного эксперимента [97].

В настоящее время в Баренцевом/Евро-Арктическом регионе наблюдается интенсификация научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию многофункциональных веб-ориентированных информационных систем

мониторинга обстановки в Арктике. Наибольшее внимание среди существующих разработок в этой области заслуживают следующие [88]:

- *Открытый информационный портал BarentsWatch* - <http://www.barentswatch.com> (разработчик Kongsberg Spacetec. AS, Норвегия);
- *Транснациональный ИКТ-клuster Баренц-региона (электронная B2B-площадка BarentsICT)* - <http://barentsict.org>;
- *Система освещения обстановки (COO) в Арктике* (разработчик ОАО «Концерн РТИ Системы», Россия) [121];
- *Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО)* - <http://www.esimo.ru> (разработчик ВНИИГМИ-НЦД Росгидромета, Россия);
- *Единая национальная диспетчерская служба Арктики (ЕНДС Арктики)* - [www.endsnw.ru](http://www.endsnw.ru) (разработчик Северный Арктический федеральный университет им. М.В.Ломоносова, Россия);
- *Мультипредметный Арктический портал RU-Arctic* - <http://www.ru-arctic.net> (разработчик Институт информатики и математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН, Россия);
- *Профессиональная социальная сеть BarentsNet* (разработчик Институт информатики и математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН, Россия).

Функционал и особенности реализации информационных систем RU-Arctic и BarentsNet (авторские разработки) описываются в четвертой главе работы.

Для сравнения рассмотренных выше аналогов предлагается ряд критериев, отражающих важные для решения проблемы исследования функциональные возможности соответствующих разработок (области автоматизации в таблице 1.2):

- (1) возможность управления данными и знаниями о разнородных объектах и процессах обеспечения безопасности;
- (2) возможность непрерывного информационного мониторинга и индикаторного оценивания потенциальных угроз и опасностей;
- (3) возможность гибкого проблемно-ориентированного поиска информации в территориально распределенных разнородных источниках и унифицированного доступа к ней;

- (4) возможность оперативной аналитической обработки информации;
- (5) возможность интеграции разнородных информационных ресурсов и сервисов;
- (6) возможность анализа и прогнозирования развития кризисных ситуаций;
- (7) возможность визуализации информации с территориальной привязкой;
- (8) возможность реализации ситуационного управления «точно в срок»;
- (9) возможность дистанционного формирования и использования проблемно-ориентированных экспертно-имитационных моделей;
- (10) предоставление специализированных интерфейсов для различных категорий пользователей и решаемых задач;
- (11) автоматизированный поиск субъектов совместной деятельности и исполнительных ресурсов;
- (12) возможность координации процессов принятия управленческих решений в условиях децентрализованного управления;
- (13) автоматизированное формирование спецификаций организационных структур управления безопасностью «под задачу» и планов совместных действий;
- (14) динамическое конфигурирование организационных структур управления безопасностью и оценка качества их конфигурации;
- (15) возможность формирования единого информационного пространства межведомственной деятельности.

Проведенный аналитический обзор средств информационной поддержки управления региональной безопасностью показал, что ни одна из рассмотренных систем не удовлетворяет в должной мере постановке цели диссертации, так как не обладает требуемой совокупностью функциональных характеристик.

Результаты сравнительного анализа современных прототипов применительно к задачам информационной поддержки управления региональной безопасностью, рассмотренных в разделе 1.2, представлены в таблице 1.2. В таблице также приведен разработанный в ходе диссертационного исследования прототип мультиагентной системы информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью – МИАС «Безопасный Виртуальный Регион». Предлагаемое новое технологическое решение (система) ориентировано на комплексное решение задач информационной поддержки управления региональной безопасностью, а также формирование информационной среды региональной безопасности.

Таблица 1.2 – Анализ современных средств информационной поддержки управления региональной безопасностью

Основными недостатками рассмотренных потенциальных аналогов и прототипов в плане решаемой в диссертации проблемы являются:

- отсутствие возможностей автоматизированного синтеза спецификаций (моделей) организационных структур управления безопасностью и поиска (подбора) субъектов совместной деятельности для реализации антикризисных мероприятий;
- отсутствие средств координации децентрализованного принятия решений на разных уровнях управления региональной безопасностью;
- частичная информационная поддержка начальных этапов жизненного цикла развития кризисных ситуаций, связанных с зарождением угроз и опасностей;
- каждая отдельная система – это изолированный, обособленный «островок» методов и технологий информационной поддержки и, как следствие, невозможность совместного использования в силу низкого уровня интероперабельности функциональных элементов;
- отсутствие средств интеграции технологически и семантически разнородных информационных ресурсов и сервисов;
- отсутствие единых регламентов информационного взаимодействия субъектов управления безопасностью;
- плохая адаптивность к динамически изменяющимся условиям.

Таким образом, общими требованиями к разработке системы информационной поддержки сетецентрического управления региональной безопасностью являются:

- учет активности субъектов управления безопасностью, то есть наличия у них собственных целей, сферы интересов, компетенций и т.д.;
- обеспечение кооперативности участников процессов управления безопасностью в кризисных ситуациях, то есть возможности формирования организационных структур (коалиций) управления безопасностью для совместной деятельности с целью предотвращения и ликвидации последствий кризисных ситуаций, обеспечения безопасности в целом;
- обеспечение адаптивности системы управления региональной безопасностью, то есть способности самостоятельно воспринимать окружающую среду и приспосабливаться к ее изменениям;

- обеспечение координаемости и децентрализации управления, то есть согласования локальных решений сетевоцентрического управления посредством переговорного процесса;
- обеспечение интероперабельности, расширяемости, интерактивности, мобильности, персонализации, а также возможностей к саморазвитию и самоорганизации информационной среды региональной безопасности.

Учет этих требований позволит, с одной стороны, включать новых субъектов в процессы управления региональной безопасностью, а с другой - динамически формировать структуру и состав многоуровневой системы сетевоцентрического управления региональной безопасностью в зависимости от параметров конкретных кризисных ситуаций из множества доступных компонентов (субъектов, ресурсов, сервисов и т.д.).

#### **1.4. Постановка проблемы сетевоцентрического управления региональной безопасностью**

Проведенный системный анализ проблемы информационного обеспечения сетевоцентрического управления региональной безопасностью показал, что для повышения эффективности существующей системы организационного управления региональной безопасностью необходимо:

- развитие информационной инфраструктуры безопасности региона;
- интеграция, обработка и анализ больших объемов семантически и организационно разнородных данных для информационной поддержки принятия решений на всех уровнях управления региональной безопасностью;
- обеспечение семантической интероперабельности информационных систем региональных ситуационно-кризисных центров;
- координация и автоматизация деятельности организационно разнородных и территориально распределенных субъектов управления безопасностью на этапах планирования и реализации антикризисных мероприятий в условиях децентрализованного принятия решений;
- согласование показателей региональной безопасности, оптимизируемых различными элементами многоуровневых систем регионального управления, и прогнозирование их динамики в режиме реального времени;

- формирование единой информационной среды для совместного использования современных методов управления и автоматизации, которые в настоящее время применяются изолированно друг от друга для каждой области региональной безопасности;
- поддержка «сквозного» управления региональной безопасностью на всех этапах жизненного цикла развития региональных кризисных ситуаций.

Для этого требуется разработка инструментальных средств (моделей, методов и комплексов программ), позволяющих на базе имеющихся и вновь создаваемых информационно-вычислительных ресурсов сформировать многофункциональную целостную информационную инфраструктуру безопасности региона и обеспечить ее интеграцию в региональное информационное пространство. В рамках этой инфраструктуры должны быть реализованы средства информационной поддержки и координации деятельности субъектов безопасности на всех уровнях управления. Эти средства должны обеспечивать сокращение временных и ресурсных затрат на выработку и реализацию оперативных и стратегических управленческих решений в условиях децентрализованного управления безопасностью и высокой динамики внутренних и внешних факторов развития региональных кризисных ситуаций.

Поэтому задачами настоящей диссертационной работы являются:

1. Системный анализ проблемы сетевентрического управления региональной безопасностью и оценка применимости современных методов для ее решения.
2. Развитие методологии исследования проблемы и разработка информационных моделей, обеспечивающих базу для автоматизации и координации процессов децентрализованного принятия решений на всех уровнях управления региональной безопасностью в динамически изменяющихся условиях.
3. Разработка методов и технологий, обеспечивающих формирование и конфигурирование распределенной информационной среды для поддержки сетевентрического управления региональной безопасностью.
4. Разработка архитектуры сетевентрической информационной среды региональной безопасности и программная реализация функциональных компонентов этой среды в виде исследовательских прототипов, обеспечивающих решение комплекса задач информационной поддержки управления региональной безопасностью.

5. Экспериментальная апробация разработок и их приложение для решения практических задач в области информационного обеспечения региональной безопасности на примере Мурманской области, в частности:
  - оценка уровня безопасности региона на основе формирования и анализа интегрального показателя безопасности региона, представляющего собой матрицу показателей региональной безопасности;
  - формирование спецификации организационных структур управления безопасностью, ориентированных на оптимизацию соответствующих показателей для каждой области региональной безопасности, с учетом заданных ограничений и текущего состояния развития региона;
  - оценка эффективности (качества) синтезированных структур в плане достижения глобальной цели управления безопасностью региона – перехода системы в требуемое (желаемое) безопасное состояние.

Средства информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью должны быть ориентированы на непрограммирующего пользователя, учитывать его активность и сферы интересов, обеспечивать автоматизированный выбор методов решения поставленных задач, сопровождать процесс выработки и реализации управлеченческих решений в рекомендательном режиме.

## **Выводы**

1. Системный анализ проблемы сетевентрического управления региональной безопасностью позволил выявить специфические особенности и основные недостатки современной системы организационного управления безопасностью РСЭС. Показано, что в настоящее время эта проблема еще далека от эффективного решения. Особенno актуальна эта проблема для арктических регионов России.

2. Установлено, что в современных условиях решение сформулированной проблемы сетевентрического управления региональной безопасностью достигается за счет адекватной информационной поддержки и координации процессов принятия управлеченческих решений в этой сфере. Этим обеспечивается автоматизация деятельности и согласованность взаимодействия организационно разнородных и пространственно распределенных субъектов управления безопасностью на всех уровнях принятия решений, что сокращает время на выработку и реализацию

решений системы организационного управления региональной безопасностью. До настоящего времени задачи и средства информационной поддержки и координации сетевентрического управления региональной безопасностью не рассматривались в комплексе и не решали проблему в целом.

3. Сформулированы и систематизированы задачи информационной поддержки управления региональной безопасностью и проведен анализ современных средств их решения, что, в свою очередь, позволило оценить текущее состояние и проблемы развития современной информационной инфраструктуры региональной безопасности. Определены основные информационные потребности субъектов управления безопасностью и недостатки современных систем информационной поддержки, используемых в этой области.

4. Анализ современного методического и программного инструментария, используемого в области информационного обеспечения региональной безопасности, позволил сформулировать общие и частные требования к разработке методологии и средств информационно-аналитической поддержки, ориентированных на решение проблемы сетевентрического управления региональной безопасностью. Эти средства реализуют интегрированную информационную среду, обеспечивающую повышение эффективности сетевентрического управления региональной безопасностью.

5. Показано, что перспективным способом построения гибких систем автоматизации является создание и использование концептуальной модели предметной области. Поэтому первый этап построения информационной среды региональной безопасности состоит в разработке интегрированной концептуальной модели региональной безопасности, являющейся формальной основой для создания методов и средств информационной поддержки сетевентрического управления региональной безопасностью.

## **ГЛАВА 2. РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ**

В настоящее время перспективным подходом к повышению эффективности управления региональной безопасностью является адекватная информационно-аналитическая поддержка процессов принятия управленческих решений в этой сфере. Это достигается через создание целостной информационной инфраструктуры региональной безопасности. Одним из вариантов реализации такой инфраструктуры является виртуальная среда региональной безопасности. Основными задачами этой среды являются удовлетворение информационных потребностей и обеспечение согласованного взаимодействия субъектов управления безопасностью посредством оперативного и своевременного предоставления соответствующих информационных ресурсов (данных) и сервисов для информационно-аналитической поддержки принятия решений на разных уровнях управления региональной безопасностью.

Разработке информационных моделей, обеспечивающих формальную основу для автоматизированного синтеза структуры виртуальной среды региональной безопасности и координации взаимодействия функциональных элементов этой среды, посвящена данная глава диссертационной работы. Предложено развитие методологии исследования проблемы сетецентрического управления региональной безопасностью.

### **2.1. Методология исследования и решения проблемы сетецентрического управления региональной безопасностью**

#### ***Формализация понятия «региональная безопасность»***

Для формализации понятия «региональная безопасность» в работе вводится *матрица региональной безопасности*. Количество столбцов матрицы соответствует числу учитываемых в интегральной оценке состояния безопасности развития региона составляющих региональной безопасности (экономическая, экологическая, кадровая, социальная, инновационная и др.), а число строк - количеству показателей каждой составляющей с максимальным набором параметров. Каждый элемент матрицы представляет собой вектор-функцию параметров для конкретной составляющей

безопасности, либо скалярную величину. Исследована возможность применения векторных и лингвистических переменных в качестве элементов матрицы. На этапе моделирования матрица региональной безопасности обеспечивает основу для исследования и построения сценариев достижения требуемого (желаемого) или допустимого уровня безопасности развития РСЭС.

Сложная система имеет область устойчивых состояний  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  и матрицу переходов из одного устойчивого состояния в другое  $M_{n \times n}$ . Каждое устойчивое состояние системы характеризуется значениями некоторого набора параметров  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ , где  $\forall s_i \in S, p_i = \{p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{ik}\}$  - значения параметров  $i$ -го устойчивого состояния. Причем значения каждого параметра должны лежать в определенном диапазоне, который может зависеть от значений остальных параметров, а также от времени ( $t$ ):

$$\forall P_{ij} \in [f_{\min}(p_{ij}, P(t)), f_{\max}(p_{ij}, P(t))]. \quad (2.1)$$

$\forall m_{ij} \in M, \exists C_{ij} = \{p_1^{ij}, p_2^{ij}, \dots, p_r^{ij}\}$  - цена перехода из состояния  $s_i$  в состояние  $s_j$ , причем  $\{p_1^{ij}, p_2^{ij}, \dots, p_r^{ij}\} \subseteq P$ . Тогда любой переход будет сопровождаться затратами или высвобождением (накоплением) ресурсов из набора  $C_{ij}$ . Запас ресурсов системы  $RS$  зависит от ее состояния и от времени  $RS = f(S, t)$ . Следовательно, элементы матрицы  $M$  (кроме элементов главной диагонали) будут также зависеть от запаса ресурсов и от времени.

Когда система переходит из одного устойчивого состояния в другое, происходит изменение значений данных параметров. Чтобы оценить качество каждого перехода системы, необходимо ввести критерий как функцию от параметров каждого устойчивого состояния системы:

$$K = f(P) \Rightarrow Ks_i = f(p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{ik}). \quad (2.2)$$

*Матрица региональной безопасности* представляет собой матрицу устойчивых состояний РСЭС, которая позволяет определить возможные стратегии перехода системы из начального устойчивого состояния некоторого цикла ее развития в его конечное устойчивое состояние за ограниченное время с положительным приращением критериальной функции, позволяющей оценить каждый переход системы с точки зрения целей моделирования динамики ее развития, то есть матрица

региональной безопасности обеспечивает синтез траекторий движения системы в пространстве устойчивых состояний.

Матрица  $M_{n \times n}$ :

$$M = \begin{vmatrix} \emptyset & m_{12}(RS, rk, t) & \dots & m_{1n}(RS, rk, t) \\ m_{21}(RS, rk, t) & \emptyset & \dots & m_{2n}(RS, rk, t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{n1}(RS, rk, t) & m_{n2}(RS, rk, t) & \dots & \emptyset \end{vmatrix}, \quad (2.3)$$

где  $RS = f(S, t)$  - требуемые для перехода ресурсы;  $rk = f(P, t)$  - вероятность перехода;  $t$  – время перехода.

Цикл развития системы ограничен по времени и по величине приращения критериальной функции. Началом цикла будем считать устойчивое состояние  $s_1$ , окончанием –  $s_g$ . Устойчивому поступательному (безопасному) развитию системы будет соответствовать кортеж согласованных во времени элементов матрицы  $M$ :  $M_{RSD} = \langle m_1(t_1), m_2(t_2), \dots, m_g(t_g) \rangle$ ,  $M_{RSD} \subset M$ , для которого выполняется следующая система неравенств:

$$\delta t_{\min} \leq t_g - t_1 \leq \delta t_{\max}, \quad (2.4)$$

$$\delta K_{\min} \leq K(m_g) - K(m_1) \leq \delta K_{\max}, \quad (2.5)$$

где  $\delta t_{\min}$ ,  $\delta t_{\max}$  – границы временного интервала цикла развития;

$\delta K_{\min}$ ,  $\delta K_{\max}$  – границы значений критериальной функции.

При этом все переходы между устойчивыми состояниями внутри цикла развития должны быть согласованы во времени и удовлетворять ограничениям на наличие ресурсов. При оценке состояния защищенности, характеризующего уровень безопасности развития РСЭС, должны также учитываться такие факторы как несимметричность переходов, время переходов и их характер, влияние внешней среды, идентификация границ и взаимосвязей циклов развития. Для координации показателей состояния компонентов РСЭС, представленных в матрице региональной безопасности и оптимизируемых различными элементами системы регионального управления, в работе предлагается использовать математический аппарат теории иерархических многоуровневых систем [94].

### Формализация задачи управления региональной безопасностью

В общем случае задача управления региональной безопасностью сводится к поиску такого допустимого управления, которое имеет максимальную эффективность и определяет оптимальную траекторию движения РСЭС в пространстве устойчивых состояний. Для оценки состояний используются показатели, образующие матрицу региональной безопасности. Общая математическая постановка задачи исследования может быть formalизована в классической для теории управления форме [101] (рисунок 2.1), которая адаптирована для задач управления системами различной природы, в том числе региональной безопасностью.



Рисунок 2.1 - Модель задачи управления региональной безопасностью

Эффективность управления  $G(u) = \max_{u \in U} f(u, s)$ ,  $f = f(u, g(p, t))$ , где  $u \in U$  - вектор управлений,  $s \in S$  - множество состояний объекта управления, причем  $s = g(p, t)$ ,  $p \in P$  - значения параметров, описывающих состояния объекта управления,  $t$  - время.

Модель субъекта управления  $\Psi = \{U, U_0, \Theta, w(\cdot), v(\cdot), I, z\}$ , где  $U$  - множество управляющих воздействий (стратегия деятельности субъекта);  $U_0 \subseteq U$  - множество управляющих воздействий, выбираемых субъектом управления;  $\Theta$  - множество внешних воздействий на объект управления (угрозы безопасности различной природы);  $w(\cdot)$  - зависимость результатов деятельности субъекта управления от управляющих воздействий и внешнего окружения объекта управления, то есть  $w(\cdot) : U \times \Theta \rightarrow U_0$ ;  $v(\cdot)$  - функция полезности, задающая предпочтения субъекта

управления на множество возможных результатов его целенаправленной деятельности;  $I$  - информация о текущей обстановке (внешнем окружении объекта управления), которой обладает субъект управления на момент принятия решений о выбираемом управляющем воздействии;  $z = w(u, \Theta)$ ,  $z \in U_0$  - результат деятельности субъекта управления при выбранном управляющем воздействии (показатели качества функционирования элементов и подсистем РСЭС).

### ***Методология решения проблемы***

Предлагаемая в диссертационной работе единая методологическая база для решения проблемы децентрализованного управления региональной безопасностью получена в результате реализации комплексного подхода к интеграции методов концептуального, системно-динамического и мультиагентного моделирования, а также методического аппарата теории многоуровневых иерархических систем, методов сетецентрического управления, технологий одноранговых распределенных информационных систем и Семантического Веба. Такой подход обеспечивает основу для разработки новых информационных технологий построения адаптивной интеллектуализированной среды информационно-аналитической поддержки принятия решений на всех уровнях управления региональной безопасностью.

Современный этап развития компьютерных наук обозначил новое перспективное направление в области создания адаптивных интеллектуальных систем и технологий поддержки принятия решений, основанных на знаниях - когнитивные информационные технологии [56]. *Когнитивные информационные технологии* – способы и алгоритмы достижения целей субъектов управления, опирающиеся на модели и методы формализации, интеграции, согласования, обработки, анализа и синтеза экспертных знаний об исследуемых объектах и процессах информатизации и обеспечивающие информационную поддержку принятия решений по управлению данными объектами и процессами. Это обуславливает целесообразность применения когнитивных информационных технологий в качестве основы для создания средств информационно-аналитической поддержки и автоматизации процессов управления безопасностью организационных и технических систем. Одним из наиболее известных представителей данного класса технологий, широко используемых для решения задач в различных предметных областях, но ранее не применявшимся для

задач информационной поддержки управления безопасностью региональных социально-экономических систем, является технология мультиагентных систем [20].

Использование технологии одноранговых мультиагентных информационных систем, построенных на базе сервис-ориентированной архитектуры SOA (Service-Oriented Architecture) [36], с поддержкой облачных и веб-сервисов позволяет создать адекватную среду информационно-аналитической поддержки задач управления и принятия решений в сфере региональной безопасности, учитывая распределенность, динамичность и структурную сложность компонентов РСЭС. Основу сервис-ориентированного подхода составляет принцип агентной ориентации, который заключается в использовании в качестве компонентов распределенных информационных систем интеллектуальных агентов и веб-сервисов, автономно функционирующих и обладающих целенаправленным поведением.

При таком подходе обеспечивается возможность виртуализации процессов управления отдельными составляющими региональной безопасности за счет делегирования функций информационного мониторинга за состоянием различных показателей региональной безопасности и управления рисками интеллектуальным про-активным агентам. На основе коалиционных взаимодействий агентов возможно будет обеспечить адаптивное моделирование и координацию целенаправленной деятельности субъектов управления безопасностью, а также динамическое конфигурирование информационной инфраструктуры региональной безопасности. Формирование коалиций агентов, согласно [130] - это один из подходов конфигурирования виртуальных организационных структур безопасности под конкретную задачу управления безопасностью региона посредством применения согласованных стратегий, временная логика которых зависит от динамически меняющихся условий.

Для решения задач информационной поддержки и координации децентрализованного управления региональной безопасностью в динамически изменяющихся условиях на основе формирования мультиагентной среды информационно-аналитической поддержки предложено использовать принципы сетецентрического управления и синергетического подхода.

Сетецентрический подход [32] предполагает использование сетевой структуры организационного управления с выделенными управляемыми центрами и

обеспечивает создание общего информационного поля (целостной виртуальной среды) на основе интеграции функционального и вычислительного потенциала разнородных проблемно-ориентированных информационных систем для решения задач управления сложными динамическими системами.

Реализация синергетического подхода [150] к управлению сложными открытыми нелинейными системами, характеризующимися свойствами энтропии, неустойчивости, неравновесности, бифуркации, катастроф и самоорганизации, на базе мультиагентных технологий заключается в формировании коалиций агентов в результате самоорганизации и коллективной адаптации агентов к изменяющимся условиям среды. Это обеспечивает возможность перехода от закрытых иерархических структур с жесткими связями и централизованным управлением к открытым сетевым виртуальным организационным структурам с гибкими связями и децентрализованным управлением.

Для формализации задач управления региональной безопасностью в ходе исследования предложено использовать технологию концептуального моделирования [34, 105], основанную на методах системного анализа. Технология обеспечивает комплексное формальное представление структуры предметной области, решаемых задач и исполнительной среды информационно-аналитической поддержки. При этом модели формируются на основе формализации субъективных представлений (знаний) экспертов о системе и/или ситуации в виде концептуальных моделей, являющихся базой для создания полимодельных комплексов, входящих в состав средств поддержки принятия решений по управлению сложными динамическими системами.

Для практической реализации концептуальных моделей предложено использовать инструментальные средства построения онтологий [131]. Онтологии обеспечивают структуризацию, формализацию и унификацию представления знаний с целью их многократного и гибкого использования в информационных системах.

Эффективным подходом к моделированию региональных систем является метод системной динамики [91, 115, 157]. Данный метод применяется для исследования динамически сложных систем с множественными и, как правило, неоднородными обратными связями, что затрудняет применение аналитических методов для их моделирования. Важным достоинством инструментальных средств системно-динамического моделирования является возможность оперативной

модификации не только параметров модели, но и ее структуры непосредственно в ходе реализации вычислительного эксперимента. Отмеченные аспекты и имеющийся мировой опыт позволяют констатировать большой потенциал приложения метода системной динамики в задачах управления безопасностью развития региональных систем, характеризующихся сложностью, большой длительностью развития, слабой формализованностью и новизной ситуаций.

Результаты анализа применимости современных методов и подходов для решения комплекса задач информационной поддержки принятия решений на стратегическом, оперативно-стратегическом, оперативно-тактическом и тактическом уровнях управления региональной безопасностью, сформулированных в разделе 1.2, представлены в таблице 2.1.

Используемые обозначения в таблице 2.1:

СУУ – стратегический уровень управления;

ОСУУ – оперативно-стратегический уровень управления;

ОТУУ – оперативно-тактический уровень управления;

ТУУ – тактический уровень управления;

ОСУБ – организационные структуры управления безопасностью;

КМ – концептуальное моделирование;

СДМ – системно-динамическое моделирование;

МАС – мультиагентные системы;

ТИМС – теория иерархических многоуровневых систем.

По результатам анализа возможностей современных методов и подходов в ходе проведенных исследований предложен когнитивный подход к решению проблемы сетецентрического управления региональной безопасностью. В отличие от известных теоретических результатов подход основан на комбинированном использовании методов концептуального, системно-динамического и мультиагентного моделирования сложных динамических систем и процессов, а также методов теории многоуровневых иерархических систем для координации управления этими системами и процессами. Интеграция перечисленных методов позволила получить качественно новые результаты в области создания средств информационно-аналитической поддержки управления сложными системами различной природы и масштаба. Средства реализации каждого из указанных методов обеспечивают

выполнение определенных функций, а их интеграция приводит к синергетическому эффекту и получению результатов, обладающих высоким уровнем когнитивности.

Таблица 2.1 - Методы и подходы исследования и решения задач информационного обеспечения региональной безопасности на разных уровнях управления

Предложенный когнитивный подход обеспечивает расширение адаптационных возможностей и интеллектуализацию систем информационно-аналитической поддержки управления сложными объектами различной природы за счет комбинированного использования указанных методов и средств их реализации на всех уровнях принятия управленческих решений. Отличительные особенности когнитивного подхода к решению задач информационной поддержки управления региональной безопасностью отражены на рисунке 2.2.

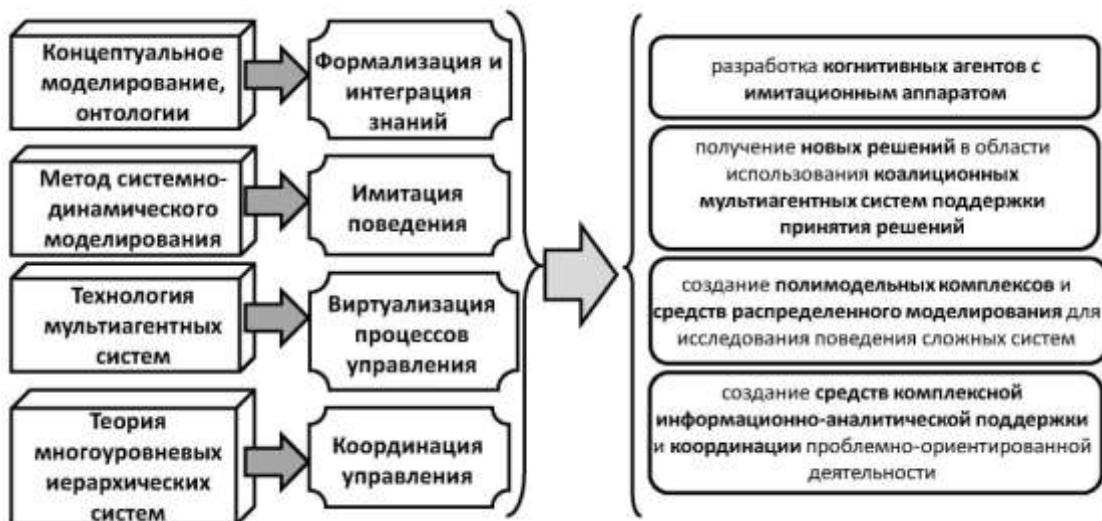


Рисунок 2.2 - Структура и особенности когнитивного подхода к решению задач информационной поддержки и координации сетевоцентрического управления региональной безопасностью

Разработка интегрированной концептуальной модели предметной области и исполнительной среды информационно-аналитической поддержки необходима для интеграции системно-динамических и мультиагентных моделей и обеспечения их адекватности целям управления. Интеграция указанных типов моделей в единый полимодельный комплекс и их комбинированное использование обеспечивают:

- формализацию и интеграцию экспертных знаний о состоянии и тенденциях развития объектов и процессов различной природы и масштаба (на базе инструментария концептуального и онтологического моделирования);
- имитацию поведения сложных динамических систем и процессов (на базе системно-динамического моделирования);
- виртуализацию процессов и функций управления сложными объектами (на базе технологии автономных программных агентов – мультиагентного моделирования);

- координацию процессов принятия решений в условиях децентрализованного управления (на базе функционально-целевой технологии и модельного инструментария теории многоуровневых иерархических систем).

На базе предложенного подхода разработана единая методологическая база (методология) исследования и решения проблемы повышения эффективности сетецентрического управления безопасностью РСЭС. Методология включает модели и методы информационной поддержки и координации сетецентрического управления региональной безопасностью, средства мониторинга и прогнозирования динамики показателей региональной безопасности с применением автономных программных агентов и имитационного моделирования. Методология обеспечивает автоматизацию деятельности и согласованное взаимодействие субъектов управления безопасностью на всех уровнях принятия решений в условиях децентрализованного управления.

Общая схема методологии решения проблемы сетецентрического управления региональной безопасностью приведена на рисунке 2.3. На рисунке 2.3 также отражено соотношение классов решаемых задач информационной поддержки на разных уровнях управления (раздел 1.2) и используемых и разработанных моделей и методов.

Используемые обозначения на рисунке 2.3:

Класс задач **S** – задачи информационной поддержки на стратегическом уровне управления;

Класс задач **T** – задачи информационной поддержки на тактическом уровне управления;

Класс задач **O** – задачи информационной поддержки на оперативно-стратегическом и оперативно-тактическом уровнях управления;

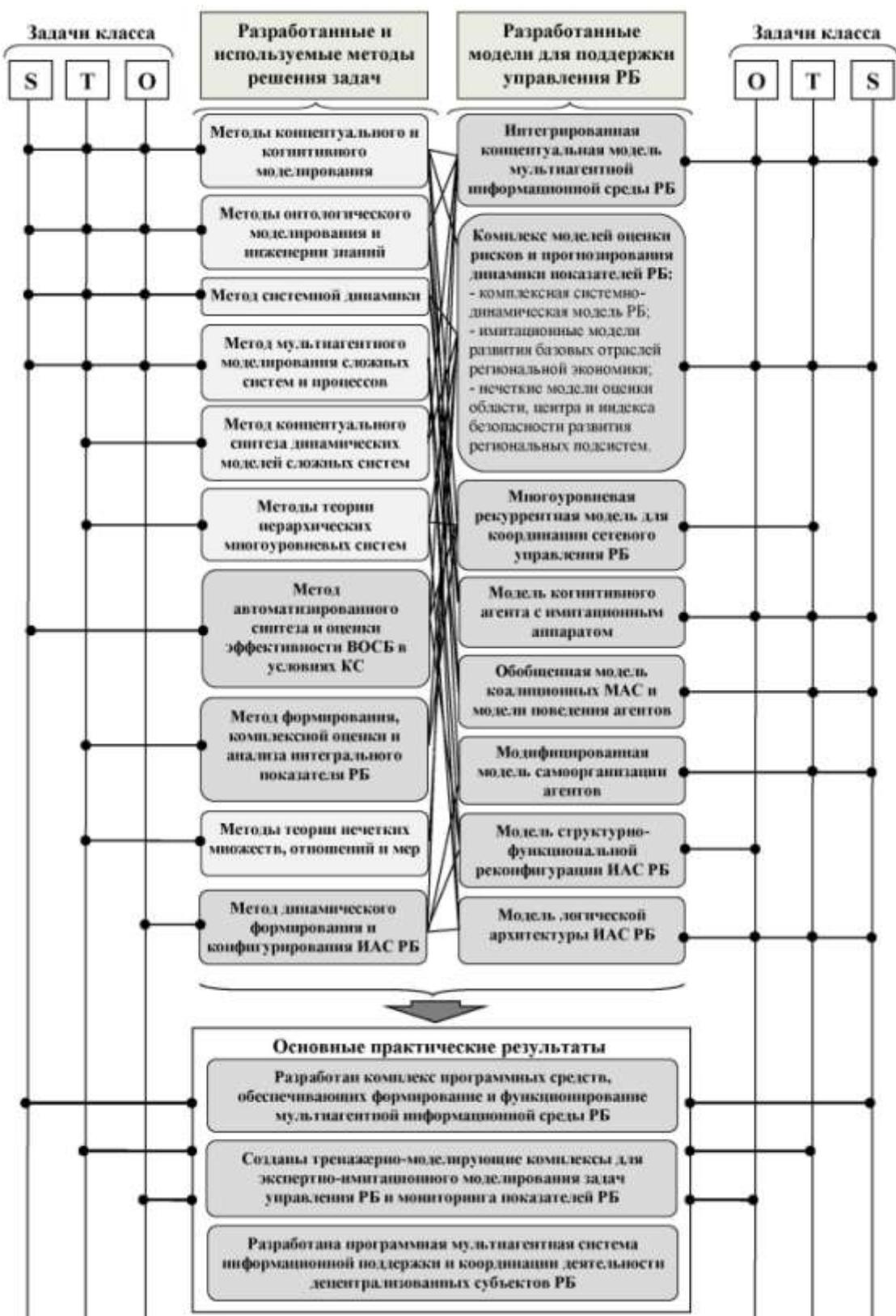
ВОСБ – виртуальные организационные структуры управления безопасностью;

ИАС – информационно-аналитическая среда;

КС – кризисная ситуация;

МАС – мультиагентная система;

РБ – региональная безопасность.



Обозначения: - разработанные модели, методы и программные средства; - используемые известные методы.

Рисунок 2.3 - Общая схема методологии решения проблемы сетецентрического управления региональной безопасностью

## **2.2. Интегрированная концептуальная модель мультиагентной информационно-аналитической среды региональной безопасности**

Формальную основу для автоматизированного формирования проблемно-ориентированных виртуальных организационных структур управления безопасностью (ВОСБ) составляет концептуальная модель мультиагентной информационно-аналитической среды региональной безопасности (КМ МИАС) [64]. Модель описана в виде теоретико-множественных отношений и представляет собой интегрированную модель предметной области «региональная безопасность» и исполнительной среды информационно-аналитической поддержки.

### **2.2.1. Состав модели**

КМ МИАС обеспечивает основу для формализованного описания задач управления региональной безопасностью в разнотипных кризисных ситуациях с целью его последующего использования в процессе автоматизированного синтеза и анализа мультиагентных моделей ВОСБ, ориентированных на решение этих задач.

Концептуальная модель виртуальной среды региональной безопасности, ориентированной на агентную реализацию, задана в виде теоретико-множественных отношений и представляет собой следующий набор множеств:

$$KM_{MIAC} = \{O, S, R, RC, RF, A, CS, CSC, Z, P, SS, U, I, Attr\}. \quad (2.6)$$

Основными элементами, образующими состав модели, являются:

*O* – множество объектов обеспечения безопасности;

*S* – множество субъектов управления безопасностью;

*R* – множество ресурсов обеспечения безопасности;

*RC* – множество классов ресурсов;

*RF* – иерархический классификатор предметных областей кризисных ситуаций;

*SS* – множество организационных структур управления безопасностью;

*A* – множество когнитивных агентов, представляющих интересы субъектов безопасности в распределенной мультиагентной виртуальной среде региональной безопасности;

*CS* и *CSC* – множества кризисных ситуаций и их классов соответственно;

*Z* – множество задач управления безопасностью в кризисных ситуациях;

*P* – множество процессов управления безопасностью в кризисных ситуациях;

$U$  – множество клиентских и серверных узлов, на которых развернута распределенная агентная платформа для исполнения агентов системы информационной поддержки управления региональной безопасностью;

$I$  – отношения на множествах объектов модели;

$Attr$  – множество атрибутов объектов модели.

Объекты безопасности  $O$  представляют собой разнородные компоненты РСЭС (промышленность, экология, экономика, логистика и др.), критически важные с точки зрения вопросов обеспечения региональной безопасности. В рамках КМ МИАС данные объекты характеризуются набором атрибутов, определяющих их тип, принадлежность и существо, а также показатели и допустимые области безопасности.

Субъекты управления безопасностью  $S$  описываются в КМ МИАС набором атрибутов, определяющих их цели, роль, компетенции, профиль деятельности. Компетенции характеризуют информационную и функциональную мощность (возможности) субъектов управления безопасностью и однозначно определяют возможный класс решаемых ими задач  $Z$  в конкретных кризисных ситуациях.

Профиль субъектов управления безопасностью описывается в КМ МИАС набором атрибутов, определяющих их функциональные и нефункциональные свойства:

$$S = (<G^S>, <RL^S>, <PD^S>, <CY^S>),$$

где  $G^S$  - множество целей субъекта управления безопасностью, заданных в терминах ресурсов обеспечения безопасности, то есть  $G^S$  – это множество ресурсов или сервисов (услуг), в получении которых заинтересован субъект. На множестве  $G^S$  может задаваться отношение иерархии. Множество целей субъекта управления безопасностью определяет логику поведения программного агента, представляющего субъект в виртуальной информационной среде региональной безопасности;

$RL^S$  - множество ролей субъекта, задающее возможные типы агентов, представляющих субъекта в виртуальной среде региональной безопасности;

$PD^S$  - множество параметров, описывающих нефункциональные свойства профиля деятельности субъекта управления безопасностью, в частности, его контактные данные, компетенции, географическое положение, показатели качества работы, компетенции ведомства, которое он представляет в виртуальной среде и т.п.;

$CY^S$  - множество параметров, описывающих функциональные свойства профиля деятельности субъекта управления безопасностью, то есть его информационную и функциональную мощность. Эти характеристики выражаются, как правило, в том, какими ресурсами субъект обладает, в каком количестве и какие сервисы (услуги) для решения задач обеспечения безопасности готов предоставить в заданный момент времени и в определенной ситуации.

Под ресурсами обеспечения безопасности  $R$  в КМ МИАС понимаются любые потребляемые, предоставляемые или производимые в результате практической деятельности субъектов управления безопасностью материальные или нематериальные (информационные) объекты, а также услуги (сервисы). К множеству ресурсов и сервисов также относятся информационные и вычислительные ресурсы, представляющие собой совокупность баз данных и аналитических средств обработки данных (сервисов, вычислительных модулей, прикладных программ), необходимых для информационной поддержки принятия решений по управлению безопасностью в кризисных ситуациях.

Класс ресурса определяет обобщенную группу ресурсов и сервисов (в том числе – информационных), потребляемых, предоставляемых или производимых в процессе предотвращения и ликвидации разнотипных кризисных ситуаций. К элементам множества классов ресурсов и сервисов относятся: силы и средства (техника, оборудование, люди и т.д.); финансы (бюджетные ассигнования, инвестиционный пакет и т.д.); метод; технология; сырье; информация и знания; вычислительные средства и т.д.

Множество  $RF$  представляет собой дерево определителей предметных областей кризисных ситуаций. В практической части работы в его качестве используется единый государственный классификатор чрезвычайных и кризисных ситуаций, опирающийся на основные виды экономической деятельности согласно общему классификатору видов экономической деятельности – ОКВЭД [104].

В модели явно представлены агенты  $A$  как специальный тип объектов. Агенты интерпретируются в модели как алгоритмические исполнители нетерминального уровня. Агенты являются исполнителями задач субъектов управления безопасностью в распределенной виртуальной среде. Это обеспечивает возможность моделирования деятельности каждого субъекта управления как автономного проактивного агента с

собственными интересами и целями. Агенты участвуют в решении задач управления безопасностью на всех этапах жизненного цикла угроз региональной безопасности посредством формирования коалиций между агентами. Коалиции агентов образуют ВОСБ. Агенты рассматриваются как интеллектуальные виртуальные помощники [150] или виртуальные анализаторы [5]. Такие проактивные объекты обеспечивают не только имитацию поведения субъектов управления, но и предоставляют информационные сервисы другим агентам, реализуют поиск субъектов совместной деятельности, осуществляют информационный мониторинг и оценку показателей региональной безопасности в многомерном пространстве критерииев.

Кризисные ситуации  $CS = \{O, Z, S, R, P, t\}$  представляют собой формализованную контекстуальную информацию о состоянии объектов безопасности  $O$  и региональных компонентов, которое характеризуется определенным набором параметров в рассматриваемый момент времени  $t$ . Класс кризисных ситуаций  $CSC$  определяет набор задач  $Z$ , которые необходимо решить для предотвращения или локализации (смягчения последствий) сложившейся кризисной ситуации, а также требуемые ресурсы и состав участников формируемых организационных структур управления безопасностью. Кризисная ситуация связывает субъектов безопасности с реализуемыми ими процессами/функциями управления безопасностью.

Процесс управления безопасностью в кризисных ситуациях  $P$  является обобщенным формализованным описанием кризисной ситуации в виде некоторой совокупности функций, в ходе выполнения которой достигается локализация возникшей кризисной ситуации и минимизируется общий ущерб от ее последствий.

Множества взаимосвязанных субъектов, участвующих в процессах управления региональной безопасностью в условиях кризисных ситуаций, образуют проблемно-ориентированные организационные структуры управления безопасностью  $SS$ . В терминах КМ МИАС они представляют собой связные фрагменты  $SS = \{S, R, A, CS, Z, P, I, Attr\}$ , включающие объекты модели, удовлетворяющие определенным условиям. Эти условия, в свою очередь, определяются параметрами модели рассматриваемой кризисной ситуации  $CS$ . Объекты модели, представляющие субъектов управления безопасностью, образуют иерархию, что позволяет учитывать организационную подчиненность субъектов при формировании организационных структур управления безопасностью в каждой области региональной безопасности.

В рамках процессно-ориентированного подхода к моделированию деятельности сложных систем организационная структура управления безопасностью может рассматриваться как целенаправленный процесс управления безопасностью в некоторой кризисной ситуации. В ходе реализации функций участников данного процесса некоторый набор входных ресурсов преобразуется в набор выходных ресурсов. Выполнение функции или группа функций является отдельным подпроцессом. В такой постановке организационная структура управления безопасностью определяется как взаимосвязанная совокупность процессов, преобразующих некоторые входные ресурсы в выходные. Таким образом, процессы управления безопасностью имеют древовидную организацию, то есть каждый процесс, за исключением «листовых», есть связанная совокупность процессов нижележащего уровня. В соответствии с теоремой о покрытии [48], доказанной для древовидных иерархических систем, реализация всех составляющих процесса эквивалентна реализации данного процесса.

### **2.2.2. Структура модели**

На множествах объектов модели заданы отношения, определяющие ее структуру и обеспечивающие возможность автоматизированного логического вывода в терминах КМ МИАС, в частности, возможность формирования допустимых вариантов ВОСБ. Вместе с тем, отношения, представленные в модели, обеспечивают формализацию взаимосвязей и взаимодействия компонентов реальной социально-экономической среды и инфраструктуры безопасности региона. Отношения принадлежности связывают агентов с субъектами управления безопасности региона.

$$I = \{SZ, CSP, PA, PSS, UA, IN, OUT, CLASS, FIELD, H\}, \quad (2.7)$$

где:

$SZ \subseteq S \times Z$  - отношение «субъект безопасности участвует в решении некоторой задачи управления безопасностью в определенной кризисной ситуации»;

$CSP \subseteq CS \times P$  - симметричное отношение «кризисная ситуация – процесс управления безопасностью», ассоциирующее возникающую кризисную ситуацию с соответствующим ей процессом управления безопасностью;

$PA \subseteq P \times A$  - симметричное отношение «процесс управления безопасностью – агент», ассоциирующее процесс управления безопасностью в кризисной ситуации с

представляющим его когнитивным агентом в рамках мультиагентной виртуальной среды региональной безопасности;

$PSS \subseteq P \times SS$  - отношение «организационная структура управления безопасностью включает процесс управления безопасностью», отношение транзитивно, то есть:  $\forall x \in P, \forall y, z \in CS (xPCSy \wedge yPCSz \Rightarrow xPCSz)$ ;

$UA \subseteq U \times A$  - отношение «узлы виртуальной среды включают агентов»;

$IN \subseteq P \times B(R)$  - отношение «процесс – множество входных ресурсов»;

$OUT \subseteq P \times B(R)$  - отношение «процесс – множество выходных ресурсов»;

$CLASS \subseteq R \times RC$  - отношение, ассоциирующее ресурс с соответствующим ему классом;

$FIELD \subseteq R \times RF$  - отношение, задающее предметную область ресурса;

$H$  - иерархия объектов модели, отражающая их организационные взаимоотношения. Отношение иерархии  $H$  определено на множествах  $S, P, RC, RF$ . На множестве  $S$  отношение  $H$  задает иерархии организационной подчиненности субъектов безопасности. На множестве  $P$  это отношение задает иерархию «процесс – подпроцесс – функция». На множествах  $RC$  и  $RF$  отношение  $H$  задает иерархии классов и предметных областей соответственно.

Отношение иерархии  $H$  на множестве  $O$  определяется следующим образом:

$$H \subseteq O \times B(O), \quad (2.8)$$

где  $B(O)$  – булев множество  $O$ . Отношение определяет для каждого элемента  $o \in O$  множество подчиненных элементов – «подэлементов».

Обратное по семантике отношение «является потомком» определяется как:

$$ISCH \subseteq O \times O. \quad (2.9)$$

Отношение иерархии определяет на множестве  $O$  классы эквивалентности, то есть

$$\forall o_1, o_2 \in O, o_1 \neq o_2 : H(o_1) \cap H(o_2) = \emptyset,$$

где  $H(o)$  - множество подэлементов (потомков) элемента  $o$ .

Классы эквивалентности по отношению  $H$  обозначим следующим образом:

$$O^0 = \{o^0\} - \quad (2.10a)$$

корневой элемент иерархии (класс эквивалентности состоит из одного элемента);

$$O^1 = \{o_1^1, \dots, o_{N_1}^1\} - \quad (2.10б)$$

класс эквивалентности, образованный элементами иерархии 1-го уровня;

$$O^{ln_1 \dots n_{l-1}} - \quad (2.10в)$$

класс эквивалентности, образованный элементами 1-го уровня иерархии, являющимися потомками элемента  $n_i$  на  $i$ -м уровне иерархии, то есть

$$o_m^{kn_1 \dots n_{k-1}} HO^{k+1n_1 \dots n_{k-1}m}. \quad (2.10г)$$

Метрика  $d$ , характеризующая дистанцию между парой элементов в иерархии, определяется как:

$$]o_1 \in O^{l_1n_1 \dots n_m \dots n_{l_1-1}} \text{ и } ]o_2 \in O^{l_2k_1 \dots k_m \dots k_{l_2-1}} \text{ и } n_i = k_i, i = \overline{1, m},$$

тогда

$$d(o_1, o_2) = \begin{cases} e^{|l_1 - l_2|/z}, & \text{если } m = l_1 - 1 \text{ или } m = l_2 - 1; \\ e^{(l_1 - m)/z} + e^{(l_2 - m)/z}, & \text{в противном случае.} \end{cases}, \quad (2.11)$$

где  $z > 0$  – масштабирующий коэффициент, определяющий скорость убывания метрики  $d$  в зависимости от дистанции между  $o_1$  и  $o_2$  в иерархии. Первое условие за фигурной скобкой означает, что элементы  $o_1$ ,  $o_2$  равны или находятся в отношении *ISCH*.

В соответствии с определением метрики  $d$  параметры  $m$  и  $l$  находятся в соотношениях:  $m < l_1$  и  $m < l_2$ .

Тогда, с учетом того, что для равных  $o_1$ ,  $o_2$   $l_1 = l_2$ , областью значений метрики  $d$  является интервал  $[1, +\infty[$ .

Множество атрибутов объектов модели описывается следующим образом:

$$Attr = \langle T_A, T_R, T_O, F \rangle, \quad (2.12)$$

где  $T_A$  - множество типов агентов (веб-сервисов);  $T_R$  - множество типов информационных ресурсов;  $T_O = \{'on-line', 'off-line'\}$  - множество типов (режимов) доступа к информационным ресурсам;  $F$  - множество функций агентов.

Таким образом, КМ МИАС выполняет две основные функции: во-первых, является средством структуризации и формализованного представления знаний о предметной области и, во-вторых, за счет формального задания отношений на множествах объектов модели, обеспечивает возможность автоматического логического вывода в процедурах формирования ВОСБ.

Модель является также основой для представления структуры и алгоритмов работы разработанного в ходе диссертационного исследования прототипа распределенной мультиагентной системы информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью, ее функциональных возможностей и составляющих программных модулей.

Формализация представления информационной среды региональной безопасности в КМ МИАС обеспечивает возможность автоматизированного анализа структуры и свойств предметной области, а также формирования в терминах КМ МИАС процедур оценки потенциальных внутренних и внешних угроз региональной безопасности, унифицированного описания алгоритмов функционирования когнитивных агентов, спецификаций исполнительной среды информационно-аналитической поддержки.

Анализ структуры и разрешимости разработанной КМ МИАС проведен на основе формальных принципов и процедур проверки целостности иерархических концептуальных моделей, изложенных в работе [34]. Применение к созданной модели этих процедур подтверждает ее разрешимость и консистентность (от «consistency» - состоятельность, корректность), то есть полноту (наличие всех элементов и связей, необходимых для успешной эксплуатации модели), связность (отсутствие элементов, структурно не относящихся к глобальной цели) и корректность (логическая непротиворечивость).

Разрешимость иерархических концептуальных моделей может рассматриваться в двух основных аспектах: до начала расчетов она подразумевает согласованность и однозначность описания всех допустимых вариантов достижения глобальной цели на различных уровнях иерархии, а в процессе имитации разрешимость состоит в обеспечении выбора корректного фрагмента модели, описывающего изучаемую задачу, подсистему или ситуацию. Построение синтаксически корректной модели еще не является гарантией того, что модель является разрешимой, то есть разрешимы все задачи, декларированные в модели. Под разрешимостью понимается достижимость (возможность порождения) некоторого подмножества элементов модели, которые определяются как целевые, из другого подмножества элементов, определяемых как исходные.

Для структуризации, формализации и обеспечения возможностей гибкого многократного использования экспертных знаний в распределенных информационных системах в настоящее время широко применяются онтологии [131], как динамично развивающаяся и перспективная форма представления знаний. Поэтому программная реализация КМ МИАС выполнена в виде прикладной онтологии региональной безопасности, которая предназначена для обеспечения семантической интероперабельности информационно-управляющих систем региональных ситуационно-кризисных центров в процессе интеграции компонентов этих систем в единую информационную среду региональной безопасности и их совместного использования. Онтология создана средствами языка онтологического моделирования OWL (Web Ontology Language) [196] в инструментальной среде разработки онтологий Protégé [183].

Онтология также задает интеллектуальность когнитивного агента - чем точнее составлена онтология, чем более корректно обозначены связи, тем полнее агент представляет предметную область, для которой он предназначен. Функции онтологии агентов, представляющих субъектов управления безопасностью в виртуальной среде, выполняет КМ МИАС. Онтология является важным элементом архитектуры когнитивных агентов. Онтология определяет цели и правила взаимодействия агентов, а также отношения между ними.

Для прогнозирования динамики показателей региональной безопасности, оптимизируемых различными элементами организационных структур управления безопасностью, и оценки результативности реализации антикризисных мероприятий необходимо использовать специальные методы моделирования. Такие перспективные во времени оценки способно дать имитационное моделирование региональной безопасности.

Для этих целей в терминах КМ МИАС формально описана система показателей региональной безопасности - набор определенных параметров для каждой области региональной безопасности, которые используются в качестве входных параметров соответствующих имитационных моделей. Основное назначение имитационной модели сделать прогноз показателей безопасности при заданных параметрах и ограничениях. Имитационные модели реализуются с помощью агентной технологии и системной динамики. Системно-динамические модели используются для

приближенного прогноза и выявления тенденций в динамике показателей безопасности, а агентные модели - для более точных количественных оценок этих показателей.

Таким образом, следующим этапом исследований является разработка базовой системно-динамической модели управления безопасностью развития региона на основе предложенной КМ МИАС. Переход от концептуальной модели к модели системной динамики реализован на основе разработанного в Институте информатики и математического моделирования Кольского НЦ РАН метода концептуального синтеза динамических моделей сложных систем [116], обеспечивающего синтез моделей системной динамики из соответствующих концептуальных моделей.

### **2.3. Базовая системно-динамическая модель управления региональной безопасностью**

Модель предметной области «региональная безопасность», интегрированная в КМ МИАС, включает в себя иерархическую древовидную структуру – дерево целей, которое отражает процесс декомпозиции главной цели «обеспечение региональной безопасности» на подцели, такие как «обеспечение экономической безопасности региона», «обеспечение экологической безопасности региона» и т.д. Кроме того, в модели formalизованы базовые показатели социально-экономической системы региона. Структура модели получена в результате декомпозиции следующих базовых показателей: валовой региональный продукт, население, бюджет и другие. Примитивами (объектами нижнего уровня декомпозиции) модели являются: выручка от продажи товаров, себестоимость проданных товаров, численность населения по возрастным группам, среднедушевые денежные доходы населения по каждой группе, среднегодовая численность занятых в экономике, инвестиции в основной капитал, среднегодовая заработка плата, уровень безработицы, миграционный прирост, естественный прирост, уровень социальной обеспеченности, количество предприятий (рабочих мест), социальное потребление, федеральная финансовая помощь.

В ходе исследований разработана библиотека системно-динамических шаблонов для имитационных моделей процессов управления региональной безопасностью. Типовые шаблоны реализованы в интегрированной среде системно-динамического моделирования Powersim Studio компании Powersim Software AS [125]

и двух специализированных приложений – редактора шаблонов и системы прикладного имитационного моделирования [62]. Шаблоны созданы для таких концептуальных классов как: объекты обеспечения безопасности, субъекты управления безопасностью, действующие внутренние и внешние факторы, кризисные ситуации, сценарии снижения рисков воздействия потенциальных угроз и опасностей и других. Синтез проблемно-ориентированных имитационных моделей из шаблонов осуществляется на основе концептуального описания решаемой задачи.

В результате, на основе КМ МИАС [64] и созданной библиотеки типовых имитационных шаблонов с применением метода синтеза имитационных моделей сложных систем, обеспечивающего синтез моделей системной динамики из соответствующих концептуальных моделей, и технологии паттернов проектирования системно-динамических моделей разработана комплексная системно-динамическая модель региональной безопасности (на примере Мурманской области). Модель обеспечивает прогноз показателей региональной безопасности при заданных параметрах и ограничениях, а также используется для выявления тенденций в динамике этих показателей при различных сценариях развития региона. Получаемые на основе модели прогнозные оценки используются в процедурах формирования интегрального показателя региональной безопасности, а также в задачах синтеза ВОСБ и координации процессов принятия решений на разных уровнях управления безопасностью региона.

Созданная модель в отличие от общеизвестных динамических моделей [91, 193, 189], являющихся базовыми для моделирования устойчивого развития макросистем различного уровня, позволяет учитывать наиболее существенные компоненты РСЭС, важные с точки зрения региональной специфики и целей моделирования устойчивого развития. Модель состоит из следующих основных компонентов: население региона, производство, финансы, рынок труда, наука и образование, окружающая среда, технологические инновации, ресурсная база. Для каждого компонента на модели formalizованы основные риски. Модель представлена совокупностью композитных модельных блоков (рисунок 2.4), описывающих состояние промышленного и инновационного потенциала региональной экономики, кадровой безопасности и экологической системы. Модель обеспечивает оценку и анализ динамики потенциальных угроз безопасности при различных сценариях развития региона с

предоставлением эксперту возможностей для вариативного расчета и оперативного корректирования показателей региональной безопасности в рамках существующей статистической отчетности. Модель учитывает систему ограничений для показателей, ввиду их взаимной зависимости. В пределах этих ограничений может быть реализован один из нескольких вариантов развития.



Рисунок 2.4 – Состав интегрированной имитационной модели управления региональной безопасностью

Согласно гипотезе, выдвинутой в работе [46], в имитационной модели региона выбираются переменные, которые на определенных интервалах времени меняются медленно («медленные переменные»). Это обеспечивает возможность прогнозировать тенденции многих показателей и исследовать их факторные взаимосвязи.

Ансамбль имитационных моделей промышленного потенциала региона включает в себя модели основных отраслей экономики Мурманской области: горнопромышленного, топливно-энергетического, рыбопромышленного, транспортного и сельскохозяйственного комплексов. Для разработки этих моделей использованы инструментальные среды моделирования Powersim [125] и Anylogic [45]. Созданные модели позволяют путем многократной имитации оценивать экономический и связанный с ним экологический риски различных сценариев развития региона. Примеры разработанных системно-динамических моделей компонентов РСЭС Мурманской области представлены на рисунках 2.5. - 2.7.

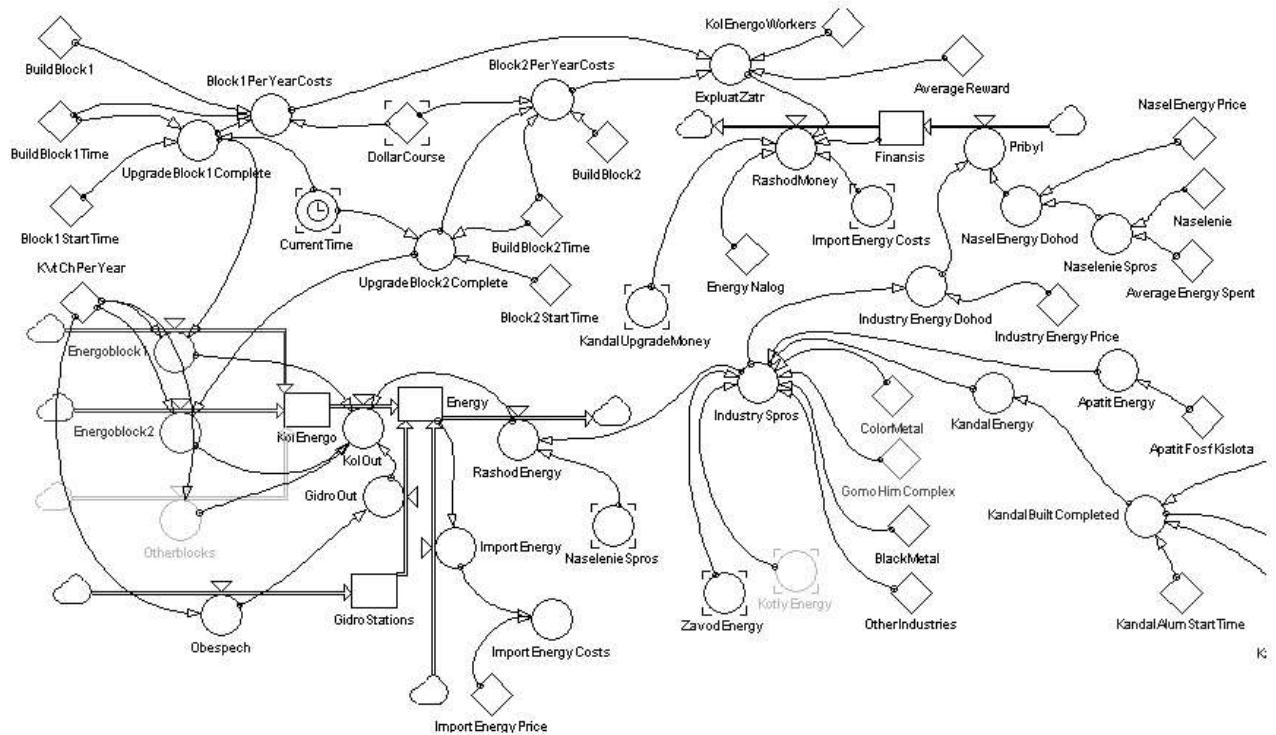
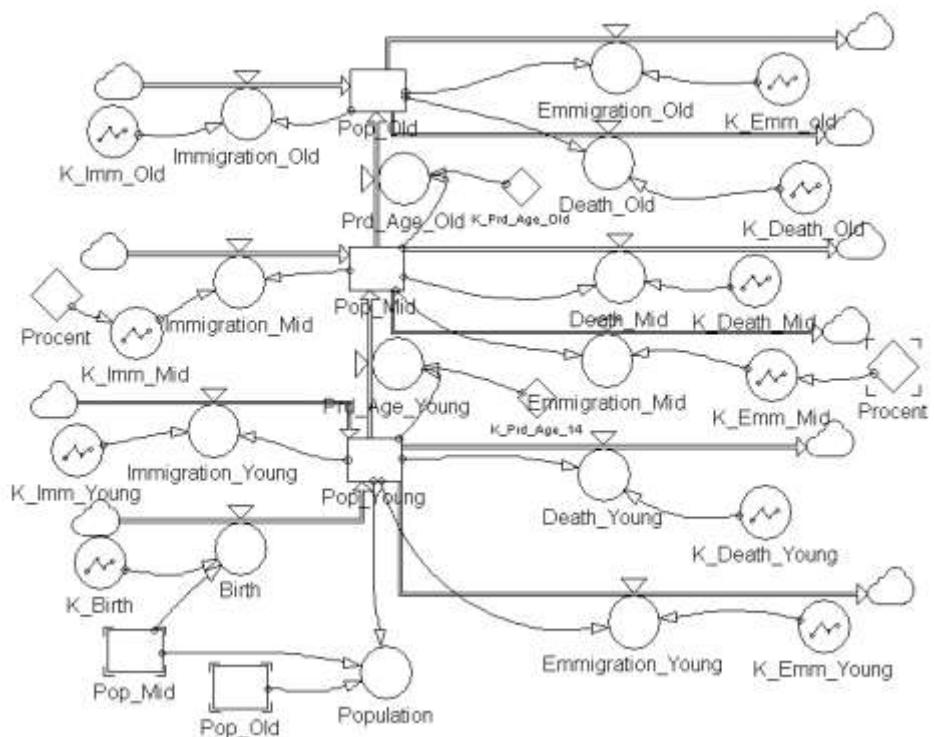


Рисунок 2.5 - Фрагмент системно-динамической модели топливно-энергетического комплекса Мурманской области



## Рисунок 2.6 - Динамическая модель развития демографической ситуации в Мурманской области

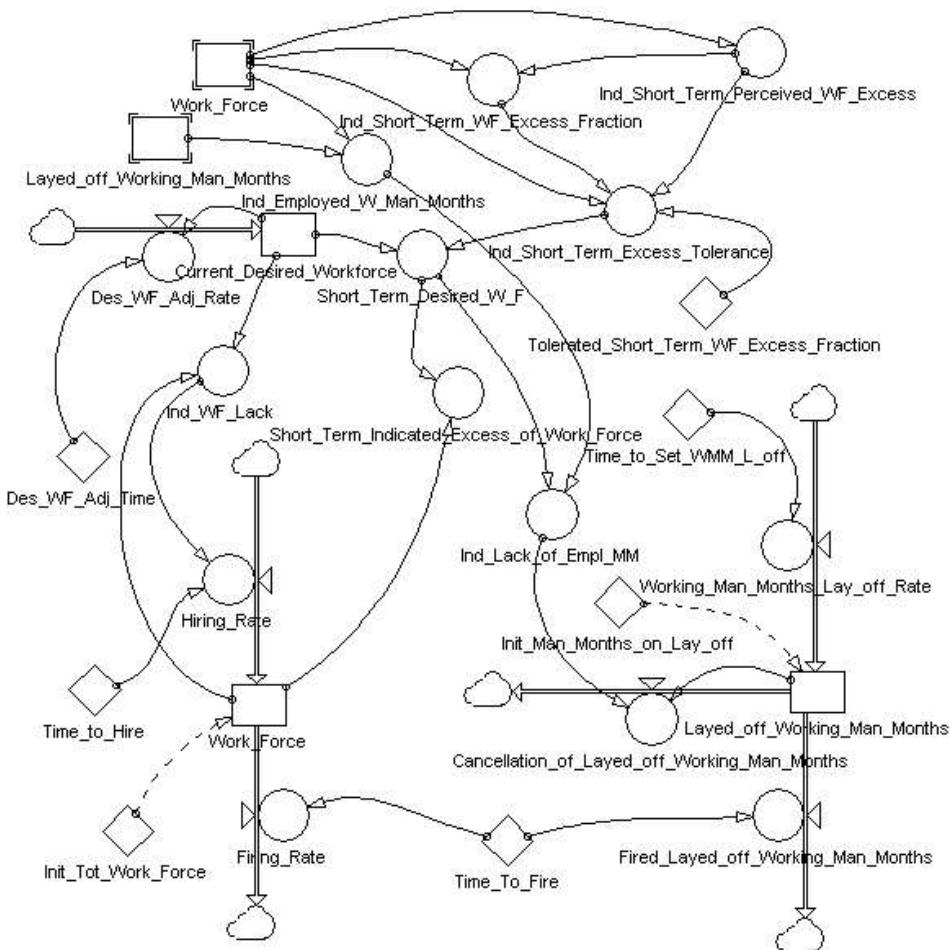


Рисунок 2.7 - Динамическая модель трудовых ресурсов предприятий  
Мурманской области

На основе моделирования для базовых компонентов РСЭС были выявлены следующие закономерности развития:

*Валовой региональный продукт:* исследовано два варианта прогноза ВРП региона - инерционный и инновационный. При инновационном развитии ВРП растет значительно быстрее.

*Население:* падение коэффициента рождаемости ниже значения 2,15 ведет к отсутствию простого замещения поколений; доля лиц старше 65 лет к общей численности населения более 7% ведет к «старению населения». Прогноз возрастной структуры населения на 3–10 лет вперед обеспечивает возможность определения численности населения пенсионного возраста, что позволяет скорректировать бюджетную стратегию региона.

*Производство:* уровень падения промышленного производства более 30% ведет к разрушению промышленного потенциала; доля экспорта продукции обрабатывающей промышленности менее 45% ведет к колониально-сырьевой

структуре экономики; доля импортных продуктов питания более 30% ведет к стратегической зависимости от импорта.

*Финансы:* превышение дефицита бюджета 30% ведет к нарушению финансовой устойчивости региона; отношение дефицита бюджета региона к общим доходам бюджета региона без учета финансовой помощи из вышестоящего бюджета более 5% ведет к заметному повышению уровня кредитных рисков; доля федеральной финансовой помощи не должна превышать 20%. Кроме того, зная динамику и прогнозируя величину доходов и расходов населения региона, можно оценивать покупательную способность, розничный товарооборот, затраты населения на услуги и другие показатели.

*Рынок труда:* уровень безработицы, превышающий 10%, ведет к социальной дестабилизации; превышение доли населения, живущей за «чертой бедности» 10% ведет к «люмпенизации» населения; соотношение минимальной и средней заработной платы более 1/3 ведет к деквалификации рабочей силы.

*Окружающая среда:* в модели имитируются процессы загрязнения воздуха и загрязнения воды (рек, озер, которые являются источником питьевой воды). Для исследования динамики взаимного влияния промышленных, экономических и экологических параметров вводятся два понятия: реальное загрязнение окружающей среды; воспринимаемое человеком загрязнение. Второе понятие введено вследствие того, что практически любое загрязнение окружающей среды, в которой находится человек, не отражается на состоянии его здоровья немедленно. В качестве источников загрязнения воздуха приняты: действующий транспорт; промышленные предприятия; предприятия топливно-энергетического комплекса и прочие объекты (например, хранилище отходов обогатительной фабрики – рассматривается процесс пыления поверхности отходов). Основными источниками загрязнения воды являются промышленные предприятия (сброс недостаточно очищенных вод промышленного использования). Каждый из этих источников имеет свои характеристики по интенсивности действия в различное время года и по влиянию на здоровье человека.

Помимо показателей экономической и экологической безопасности модель дает возможность прогнозировать показатели социальной и кадровой безопасности: численности занятых, безработных, демографическую ситуацию и другие.

На основе модельных уравнений и доступной статистической отчетности в приложении к задачам информационной поддержки управления региональной безопасностью был составлен прогноз показателей безопасности социально-экономического развития Мурманской области до 2020 года.

Для прогноза показателей региональной безопасности использовались открытые статистические данные за период 2008-2014 гг. [134-145], представленные на официальном сайте Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области в сети Интернет [152]. Исследование различных сценариев развития региона проводилось на модели с 2008 года по 2020 год.

Вместе с тем, с помощью модели исследованы три сценария социально-экономического развития Мурманской области, учитывающие наиболее вероятное сочетание внешних и внутренних факторов, влияющих на безопасность региона:

- 1) «нормальный» - для фиксированного текущего экономического потенциала региона, который выражается в фиксировании на модели текущего количества рабочих мест;
- 2) «оптимистический» - соответствует росту экономического потенциала региона в среднем на 2-3% в год;
- 3) «пессимистический» - соответствует снижению экономического потенциала региона в среднем на 2-3% в год.

В качестве исходных данных использованы данные Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области за 2008 год и за 2013 год [134, 139, 140, 145] (в качестве контрольной точки для тестирования модели). Пятилетний период (2008-2013 гг.) использовался для тестирования модели и оценки ее точности.

## **2.4. Моделирование многоуровневых распределенных систем сетевоцентрического управления региональной безопасностью**

В данном разделе работы рассматриваются результаты математического моделирования систем сетевоцентрического управления региональной безопасностью как многоуровневых распределенных систем. Системы этого класса характеризуются слабой формализованностью, многоаспектностью происходящих в них процессов и их взаимосвязанностью, динамичностью, организационной разнородностью и сложностью координации взаимодействия управляющих элементов и подсистем.

Для интегральной оценки состояния защищенности РСЭС региональная безопасность декомпозируется на составляющие (экономическую, экологическую, кадровую и др.), характеризующие уровень безопасности развития базовых региональных подсистем (экономика, экология, образование, промышленность и др.). Уровень безопасности развития региональных компонентов оценивается на основе предложенной в разделе 1.1 системы показателей безопасности региона. Показатели безопасности РСЭС являются разнородными и, как правило, оптимизируются различными элементами многоуровневой системы управления региональной безопасностью. В условиях децентрализованного управления безопасностью РСЭС, многокритериальности решаемых задач и различий в целеполагании разнородных субъектов управления это обуславливает необходимость координации процессов принятия управленческих решений по оптимизации и согласованию этих показателей на разных уровнях управления.

Для решения этой задачи разработана и исследована агентная многоуровневая рекуррентная иерархическая модель региональной безопасности [73]. Специфика модели заключается в использовании функционально-целевой технологии [48] и математического аппарата теории иерархических многоуровневых систем [94] для реализации процедур согласования локальных решений сетевоцентрического управления. Модель обеспечивает координацию сетевоцентрического управления региональной безопасностью за счет удовлетворения требований взаимосвязи между целевыми функциями элементов многоуровневой системы обеспечения региональной безопасности на разных уровнях управления.

#### **2.4.1. Многоуровневая рекуррентная иерархическая модель управления региональной безопасностью**

Рекуррентная модель управления региональной безопасностью, построенная на базе функционально-целевого подхода [34], является основой формализации задач структурно-алгоритмической организации средств информационно-аналитической поддержки в этой предметной области и методов решения этих задач. Специфика рекуррентной модели определяется, во-первых, тем, что при построении модели целевого управления использована иерархия двухоперационных алгебр цепочек целей и совершенно аналогичных по структуре цепочек действий, обеспечивающих

достижение этих целей. Во-вторых, иерархия целей в модели непосредственно порождает модель иерархии действий, что обеспечивает использование иерархии целей не только в качестве средства описания задачи, но и как средства проектирования системы информационной поддержки управления.

В многоуровневых распределенных системах такое понятие, как «цель», тесно связано с понятиями «принятие решений» [161] и «системы принятия решений» [200]. Целенаправленное поведение, в сущности, представляет собой последовательность принимаемых и реализуемых решений. Цели определяются через решаемые задачи.

Разработанная модель основана на иерархической структуре задач управления региональной безопасностью и использует последовательно-параллельные композиции целей управления и действий по достижению этих целей. Иерархическая структура заложена в самом понятии региональной безопасности, заведомо образуемой различными по характеру, но взаимосвязанными составляющими: экономической, экологической, социальной и другими. Каждая из составляющих региональной безопасности образуется набором объектов, субъектов, процессов и методов обеспечения безопасности, угроз и источников опасностей. Такая детализация проводится до нижнего уровня – уровня примитивов.

Процесс последовательной детализации задач управления региональной безопасностью представляется деревом декомпозиции целей управления. Доказанная в работе [48] теорема о подсистемах многоуровневой системы показывает, что система в целом должна строиться из таких подсистем, которые обеспечивают покрытие соответствующих подзадач основной целевой задачи многоуровневой системы. Из теоремы следует, что синтез структуры системы должен проводиться изоморфно построению глобальной цели из некоторой совокупности подцелей.

Иерархическое представление систем используется в разных приложениях, в том числе и для многоуровневых систем управления. Это объясняется простотой и наглядностью иерархических моделей, хорошо отражающих реальные взаимосвязи в окружающем нас мире, включая организации людей. Как показывает практика, практически любую сложную распределенную систему управления можно свести к иерархической. Примеры синтеза иерархических структур управления представлены, например, в работе [162]. Существуют и другие доводы в пользу иерархических многоуровневых систем [48, 94, 174]:

- для решения общей задачи системы могут эффективно использоваться ограниченные возможности подсистем;
- эти системы появляются при интеграции уже созданных систем;
- системы лучше адаптируются к изменениям и усложнениям задач и обладают хорошими показателями надежности (неисправности в работе какой-либо подсистемы не всегда распространяются на всю систему).

В применении к задачам синтеза комплексных автоматизированных систем управления региональной безопасностью на практике, как правило, используются модели в виде графа с произвольной структурой [64], нечеткие [109], когнитивные [42] и имитационные [34] модели опять же на базе таких графов. Для многоуровневых распределенных систем такие модели уже малопригодны, так как приводят к сложным моделям в виде системы вложенных графов произвольной структуры. Идеологически близкий к настоящей работе программно-целевой подход [7] предполагает использование моделей не древовидной структуры, что объясняется спецификой предметной области, где непременно должны присутствовать связи между элементами одного уровня. При решении задач в программно-целевом подходе используется достаточно сложный аппарат траекторной оптимизации.

В отличие от известных типов графовых моделей созданная многоуровневая рекуррентная модель формируется регулярным рекуррентным применением к процессу декомпозиции основной целевой задачи двухуровневой иерархической структуры, имеющей один элемент на верхнем уровне и заданное моделью предметной области число элементов нижнего уровня. Этим обеспечивается учет особенностей структуры предметной области и решаемых задач. Такой простой вид этой (элементарной) модели и регулярные правила построения модели на базе элементарной обеспечивают как формальную постановку и решение, так и практическую реализацию задач синтеза структуры автоматизированной системы и алгоритмов управления региональной безопасностью, оптимальных в смысле заданных критериев эффективности функционирования этой системы.

Перейдем к рассмотрению формальной рекуррентной иерархической модели управления региональной безопасностью. Макроструктура многоуровневой системы управления региональной безопасностью, построенная изоморфно декомпозиции основной целевой задачи обеспечения региональной безопасности, представляется в

виде дерева. Корню дерева ставится в соответствие подсистема верхнего уровня (собственно система), вершинам дерева, отстоящим от корня на одно ребро, – подсистемы, реализующие классы безопасности, на три ребра, – подсистемы, реализующие методы и средства обеспечения безопасности, и т.д.

Отображение структуры задач предметной области на структуру программно-аппаратных средств позволяет определить набор элементарных компонентов для структурно-алгоритмического синтеза системы информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью. Для этих целей в рамках модели определен алфавит функциональных операций (множество атомарных действий системы) и разработаны процедуры вывода последовательно-параллельных комбинаций этих действий, обеспечивающих решение задач вышележащих уровней, вплоть до корня дерева.

Синтез адекватной системы – трудоемкая задача, связанная с необходимостью удовлетворения условий изоморфизма на всех соответствующих уровнях декомпозиции задачи и организации системы, причем эти требования должны удовлетворяться для любой задачи рассматриваемой предметной области, что находится в противоречии с требованием гибкости системы по отношению к описанию предметной области. Поэтому для практических приложений актуальна задача синтеза покрывающих систем [48], обеспечивающих решение задач субъекта управления на всех уровнях организации системы с удовлетворяющими его значениями параметров качества цепочек действий. При этом по известным параметрам атомарных элементов нижнего уровня макроструктуры строятся отображения алгебры цепочек на алгебры соответствующих параметров «снизу вверх» до уровня иерархии системы, на котором субъект управления может принять решение либо о целесообразности использования синтезированной системы, либо о необходимости изменения постановки задачи или коррекции программно-аппаратного обеспечения системы с целью изменения параметров атомарных элементов.

Любой элемент  $M$  макроструктуры системы характеризуется состоянием  $S$ , управляющим воздействием  $U$  для задания режима работы элемента и его состояния, входной информацией  $W$ . Поскольку элементы макроструктуры – это программы, ориентированные на получение, обработку и передачу информации, то результатом

работы элемента  $M$  является некоторая выходная информация  $V$ . Рассмотрим результирующую информацию  $V$  как некоторую функцию от состояния элемента макроструктуры  $M$ , входной информации и управляющего воздействия:

$$V = M(U, S, W). \quad (2.13)$$

Под элементарной неделимой единицей алгоритма управления безопасностью условимся понимать функциональную операцию  $L$  – некоторую совокупность действий исполнительной системы, зависящих от управляющего воздействия, состояния элемента макроструктуры и его внутренней структуры:

$$L = M(U, S). \quad (2.14)$$

Функциональные операции выполняют преобразование входной информации  $W$  в выходную следующим образом:

$$L_{MUS} : V = L_{MUS}(W). \quad (2.15)$$

Считывание состояния элемента макроструктуры достигается подачей специального управляющего сигнала  $U_0$ :

$$S = L_{MUS_0} = (0). \quad (2.16)$$

Таким образом, определен алфавит функциональных операций (множество атомарных действий системы):

$$L = M \times U \times S. \quad (2.17)$$

Представим содержательную информацию рассматриваемой предметной области (региональной безопасности) в виде формальных высказываний. Построим алгебраическую систему  $A = \langle A, Q, R \rangle$ , состоящую из непустого множества  $A$ , семейства алгебраических операций  $Q$  и семейства отношений  $R$ . Для задания такой системы определим некоторые исходные объекты, которые будем рассматривать как неделимые; перечислим способы комбинирования исходных объектов между собой; укажем условие, которому удовлетворяют те и только те комбинации исходных объектов, которые считаются элементами системы; сформулируем условие, при котором два элемента системы считаются равными.

Отождествим семейство  $Q$  алгебраических операций с организацией достижений совокупной цели управления из известных атомарных целей, достижение которых реализуется атомарными действиями, заданными алфавитом  $L$ . Такие совокупные цели обеспечиваются комбинациями последовательного и параллельного

(одновременного) достижения атомарных целей, то есть композициями элементов функционального алфавита целей, построенными с использованием двух обобщенных операций:

1. операция  $\otimes$ : достичь атомарной цели  $a_2$  после достижения атомарной цели  $a_1$ ;
2. операция  $\oplus$ : достичь атомарной цели  $a_2$  одновременно с атомарной целью  $a_1$ .

Использование принципа управления через целеполагание обеспечивает организацию всего многообразия вариантов обеспечения региональной безопасности через композиции элементов функционального алфавита, построенные с использованием двух введенных обобщенных операций. Совокупная цель достигается последовательно-параллельной комбинацией подцелей нижнего уровня.

Аналогичные операции вводятся для атомарных действий – элементов функционального алфавита  $L$ . Зададим операцию  $\otimes$  как последовательное применение следующей функциональной операции к результату предыдущей:

$$\otimes: L_j = L_{j-2} \otimes L_{j-1} \rightarrow L_j(W) = L_{j-1}(L_{j-2}(W)). \quad (2.18)$$

Операцию  $\oplus$  зададим как одновременное выполнение двух атомарных действий:

$$\oplus: L_j = L_i \oplus L_k \rightarrow L_j(W) = \begin{cases} L_j(W_i) \\ L_j(W_k) \end{cases}. \quad (2.19)$$

Операция  $\otimes$  производит последовательный запуск и исполнение выбранных атомарных элементов вычислительного процесса. Операция  $\oplus$  производит параллельный запуск выбранных атомов.

В работе [48] проведены исследования полученной алгебры строк (цепочек), определены свойства замкнутости, ассоциативности, коммутативности относительно введенных операций  $\oplus$  и  $\otimes$ , а также установлено наличие нулевого, единичного и обратных элементов. Не теряя общности, ограничим рассмотрение алгеброй действий, в которой нагляден физический смысл введенных обобщенных операций. Полученные результаты справедливы и для алгебры целей.

Зададим на алгебре цепочек  $A$  некоторое отношение эквивалентности  $R$ . Отношение эквивалентности может задаваться как совпадение параметров цепочек (например, длины или используемых операций), либо как совпадение параметров результата, то есть при одинаковой входной информации в результате выполнения

двух разных цепочек получаем результирующую информацию, принадлежащую в обоих случаях к одному некоторому множеству.

Известно, что заданное некоторым образом отношение эквивалентности  $R$  разбивает все множество цепочек на множество непересекающихся классов эквивалентности. Исходя из этого, все семантически одинаковые цепочки находятся в пределах одного класса эквивалентности. Классы эквивалентности  $\{z_i\}$  характеризуются следующими соотношениями:

$$\{z_i\} : \begin{cases} 1) \forall a_1, a_2 \in z_i, a_1 R a_2 \\ 2) \bigcup_i z_i = A \\ 3) z_i \cap z_j = \begin{cases} z_i, i = j \\ \emptyset, i \neq j \end{cases} \end{cases}. \quad (2.20)$$

В каждом классе эквивалентности задается новое отношение эквивалентности, разбивающее каждый класс эквивалентности на подклассы, и т.д. В результате получается семейство алгебр классов эквивалентности

$$A^k = \langle \Sigma^k, \{\otimes, \oplus\} \rangle, \quad (2.21)$$

где  $\Sigma^k$  – множество цепочек над алфавитом  $\{\zeta_{j^k}^k\}$ .

Таким образом, строятся модели декомпозиции целей управления на комплексной предметной области и декомпозиции действий соответствующей автоматизированной системы управления, обеспечивающих достижение этих целей. Они получены абстрагированием от конкретного содержания составляющих предметных областей и заменой их понятием классов эквивалентности функций (целей или действий в зависимости от приложения модели), то есть множеств функций, эквивалентных в смысле их предметной направленности. В каждом классе эквивалентности задано новое отношение эквивалентности, относящее функции к разным поднаправлениям и разбивающее каждый класс эквивалентности на подклассы. Рекуррентный процесс детализации исходной функции продолжается вплоть до достижения уровня «примитивов» – элементарных функций, неделимых с точки зрения субъекта управления. Задание множества отношений эквивалентности функций определяет топологию на множестве функций. Базой этой топологии является множество примитивов.

Полученная декомпозиция предметной области представляется древовидным графом иерархии классов, в котором узлы – имена классов, ребра – отношения включения, корень – имя функции на комплексной предметной области, листья – примитивы:

$$\begin{aligned} \left\{ z_{\vec{j}^k}^k \right\}_{k=1}^K : z_{\vec{j}^k}^k = \bigcup_{j_{k+1}} z_{\vec{j}^{k+1}}^{k+1} \\ z_{\vec{j}^k}^k = \bigcap z_{\vec{j}^k}^k = \begin{cases} z_{\vec{j}^k}^k, \vec{i}^k = \vec{j}^k \\ \emptyset, \vec{i}^k \neq \vec{j}^k \end{cases}, \\ \vec{j}^{k+1} = (\vec{j}^k, j_{k+1}), \vec{j}^1 = 1, k = \overline{1, K} \\ \text{где } \left\{ z_{\vec{j}^k}^k \right\}_{k=1}^K - \text{ множество классов эквивалентности; } K - \text{ число уровней} \end{aligned} \quad (2.22)$$

декомпозиции;  $k$  – индекс уровня декомпозиции;  $\vec{j}^k = \{j_i\}$ ,  $i = \overline{1, K}$  – вектор-индекс длиной  $k$  класса эквивалентности на  $k$ -ом уровне декомпозиции;  $j_i$ ,  $i = \overline{1, K}$  –  $i$ -й компонент вектор-индекса;  $z_{\vec{j}^k}^k$  – имя класса на  $k$ -ом уровне декомпозиции с вектор-индексом  $\vec{j}^k$ .

Система (2.22) порождается системой отношений эквивалентности:

$$\begin{aligned} \left\{ R_{\vec{j}^k}^k \right\}_{k=1}^{K-1} : \forall j_{k+1}, \forall x, y, x R_{\vec{j}^k}^{k+1} y \Rightarrow x R_{\vec{j}^k}^k y \\ \forall \vec{j}^k \exists j_{k+1} : x R_{\vec{j}^k}^k y \Rightarrow x R_{\vec{j}^{k+1}}^{k+1} y \\ \forall \vec{j}^k, \forall \vec{i}^k : \vec{i}^k \neq \vec{j}^k : x R_{\vec{j}^k}^k y \Rightarrow \neg x R_{\vec{j}^k}^k y \end{aligned}, \quad (2.23)$$

где  $R_{\vec{j}^k}^k$  – отношение эквивалентности, разбивающее  $z_{\vec{j}^k}^k$  на  $\{z_{\vec{j}^{k+1}}^{k+1}\}$ ,  $x, y \in z_{\vec{j}^k}^k$ .

Построенная алгебраическая система  $A$ , состоящая из множества элементов, двух алгебраических операций и семейства отношений эквивалентности, является формальной моделью постановки и решения задач организации процесса управления региональной безопасностью, поскольку одинаковым образом описывает цели управления и действия по достижению этих целей на любом уровне декомпозиции исходной задачи.

В общем случае имеется множество классов эквивалентности

$$Z = \left\{ z_{\vec{j}^k}^k \right\}_{k=1}^K, \quad (2.24)$$

где  $K$  – число уровней декомпозиции.

Общая рекуррентная модель представляет собой иерархию алгебр

$$A^k = \langle \Sigma^k, \{\otimes, \oplus\} \rangle, \quad (2.25)$$

гомоморфно отображенных друг на друга «снизу вверх»:

$$\gamma_k : A^{k+1} \rightarrow A^k, \quad (2.26)$$

где  $\gamma_k$  есть совокупность отношений  $\{R_{j^k}^k\}$ .

Таким образом, рекуррентная модель предметной области (региональной безопасности) получена на основе рекуррентной декомпозиции целей управления и обеспечивает синтез структуры соответствующей автоматизированной системы управления в этой предметной области на основе адекватного декомпозиции целей управления процесса детализации действий по достижению этих целей.

Процедуры синтеза и анализа многоуровневых иерархических систем предполагают, что составляющие систему элементы обладают ограниченными возможностями по решению задач, стоящих перед системой. В связи с этим глобальная задача, отражающая назначение системы в целом, разбивается на совокупность подзадач таким образом, что решение глобальной задачи эквивалентно решению этой совокупности. Такой подход применяется как при проектировании структур многоуровневых систем, так и при организации решения системой задач [48, 94]. В многоуровневых системах, как иерархической, так и сетевой структуры при этом возникают специфические проблемы управления, связанные с координацией децентрализованного принятия решений на разных уровнях организации системы.

Созданная модель обеспечивает формальную основу для синтеза программной исполнительной среды информационно-аналитической поддержки и координации сетецентрического управления региональной безопасностью.

#### **2.4.2. Координация сетецентрического управления региональной безопасностью на базе рекуррентной модели**

Система организационного управления региональной безопасностью, построенная на базе сети распределенных ситуационно-кризисных центров, относится к классу многоуровневых сетецентрических систем управления. Такие системы управления распределенными объектами (отдельными системами), согласно работам [35, 205], характеризуются свойствами открытости, самоорганизации,

децентрализации функций управления и принятия решений, слабой иерархии в контуре принятия решений и способностью порождать цели внутри себя. Центральной задачей для данного класса систем является согласование и координация взаимодействия управляющих элементов и подсистем в условиях децентрализованного принятия решений. Главная задача координации [159] – достижение согласованности в работе всех звеньев системы путем установления рациональных связей (коммуникаций) между ними. Характер этих связей может быть различным, так как зависит от координируемых процессов.

Под *координацией* понимается свойство системы находить оптимальные решения общей задачи управления при оптимизации подзадач управления, решаемых подсистемами. Другими словами, координация означает такое воздействие элемента вышестоящего уровня на элементы нижестоящего уровня, которое заставляет нижестоящие элементы действовать согласованно. Для обеспечения координации необходимо определить ограничения на взаимосвязи между подсистемами. Выделяют два базовых способа координации [94]: координация путем изменения целей и координация путем изменения ограничений.

Известны различные методы координации управления в многоуровневых распределенных системах. К ним относятся игровые и градиентные методы [158], основанные на предложенных в [94] необходимых и достаточных условиях координируемости локально организованной иерархии динамических систем; методы координации, основанные на принципах самоорганизации на базе моделей вычислительных полей [21]; методы нечеткой параметрической координации в многоуровневых иерархических системах [38]; методы координации путем прогнозирования, развязывания и оценки взаимодействий [94]; методы координации на основе моделей коалиционных рефлексивных игр [100] и другие [48, 178, 206]. Для конкретных приложений эти методы могут дополнительно комбинироваться.

В работе [22] рассматриваются методы координации группового поведения субъектов управления (агентов) в сложных системах, основанные на моделях командной работы, процедурах конструирования общих правил взаимодействия агентов и механизмах обмена информацией на метауровне. Эти методы обеспечивают достижение ситуации равновесия с заранее заданными свойствами группового поведения.

Предлагаемый подход к решению задачи координации сетевентрического управления региональной безопасностью основан на применении разработанной многоуровневой рекуррентной иерархической модели [73]. В модели совмещаются координация путем развязывания взаимодействий и создание коалиций между агентами на разных уровнях управления. Самоорганизация агентов в коалиции и согласование локальных решений сетевентрического управления обеспечивают сокращение времени на выработку и реализацию решений системы организационного управления региональной безопасностью. Другой отличительной особенностью подхода является комбинированное использование методов анализа совместимости решаемых задач, оценивания деловой репутации (показателей качества работы) субъектов управления, функционирующих на разных уровнях иерархии системы, оценки меры связности синтезируемых организационных структур управления и агентных механизмов самоорганизации в открытых децентрализованных системах.

Разработанная рекуррентная модель (2.24)–(2.26) получена регулярным рекуррентным применением к процессу декомпозиции основной целевой задачи двухуровневой структуры [93], имеющей один элемент на верхнем уровне и заданное моделью предметной области число элементов нижнего уровня. Вариант организации управления на основе такой модели и способ координации зависят от степени распределенности общей задачи системы между уровнями. Первый подход заключается в том, что элемент верхнего уровня (координатор) имеет точное описание поведения элементов нижнего уровня. Такая постановка приводит к обычным задачам дискретной оптимизации. Второй подход состоит в том, что задача координации решается с учетом взаимодействия семейства взаимосвязанных подсистем (элементов) нижнего уровня. Нижележащие элементы в иерархии управления рассматриваются как локально-организованные, автономные самостоятельные сущности. При этом полагается, что каждая из подсистем решает свою задачу и преследует свои цели, а формализация задачи координатора основывается на информации о том, каким образом элементы нижнего уровня при выборе своих решений учитывают эти взаимодействия. Этот вариант позволяет для решения задачи, стоящей перед всей системой в целом, использовать совокупность решающих элементов, расположенных на различных уровнях организации системы, даже если каждый элемент в отдельности (включая и координатора) не в состоянии

решить общую задачу. Для решения общая задача разбивается на подзадачи, решение которых производится групповыми усилиями решающих элементов.

При этом возникает ряд проблем, связанных с необходимостью синхронизации времени решения задач нижестоящими элементами и существования некоторого плана достижения целевого состояния этими элементами. Для решения этих проблем могут использоваться, например, методы сетевого планирования [33].

Основные этапы алгоритма решения задачи координации:

- 1) выбор принципа координации;
- 2) модифицирование функций и взаимосвязей (изменение целей (функций качества) элементов нижестоящего уровня или изменение ограничений, налагаемых на принимаемые ими решения);
- 3) выбор координирующих воздействий.

При этом важной проблемой, которую необходимо решать в процессе координации, является декомпозиция глобальной цели (задачи) системы на подцели (подзадачи) и их распределение между вышестоящим и нижестоящими решающими элементами так, чтобы они были согласованными, то есть должен выполняться *постулат совместимости*: если задача вышестоящего элемента координируется по отношению к нижестоящему, то она координируется по отношению к глобальной задаче системы.

В работе реализован способ координации путем развязывания взаимодействий. В этом случае координация реализуется путем изменения целей (функций качества) элементов нижестоящего уровня, так как связующие входы выбираются произвольно. При таком способе координации должны выполняться принципы согласования взаимодействий и функций качества, а также постулат совместимости целей (задач), решаемых элементами нижестоящих уровней, по отношению к глобальной цели (задаче) системы. В работе [94] доказано, что принцип согласования взаимодействий применим, если глобально оптимальное управляющее воздействие обеспечивается локальными решениями всякий раз, когда связующие входы согласованы. Принцип согласования функций качества применим, если глобально оптимальное управляющее воздействие складывается из локальных решений всякий раз, когда согласованы ожидаемые значения и фактические значения локальных функций.

Таким образом, система координируется на основе принципов согласования взаимодействий и функций качества, если принципы применимы и существует координирующий сигнал, обеспечивающий согласованность связующих входов, а также ожидаемых и фактических значений локальных функций соответственно.

Координатор на метауровне может влиять на работу децентрализованных элементов нижнего уровня посредством изменения коэффициентов в функциях качества функционирования нижележащих элементов системы (например, изменение тарифов, стоимостных показателей, законодательства, нормативных регламентов) или иным способом. Это делается для того, чтобы элементы нижележащего уровня функционировали согласованно. При этом предполагается, что связующие сигналы (входы и выходы) между элементами нижнего уровня совпадают.

Для формализации понятия координации в [94] вводится предикат  $P(x, D)$ :

$(\forall x, \forall D), [P(x, D) \equiv x \text{ есть решение } D]$ ,

где  $D$  – решаемая системой задача. Предикат  $P(x, D)$  является истинным тогда и только тогда, когда  $D$  – решаемая задача, а  $x$  – одно из ее решений.

Пусть задачи, решаемые нижестоящими элементами, параметризуются только координирующими сигналами элемента вышестоящего уровня (рисунок 2.8).

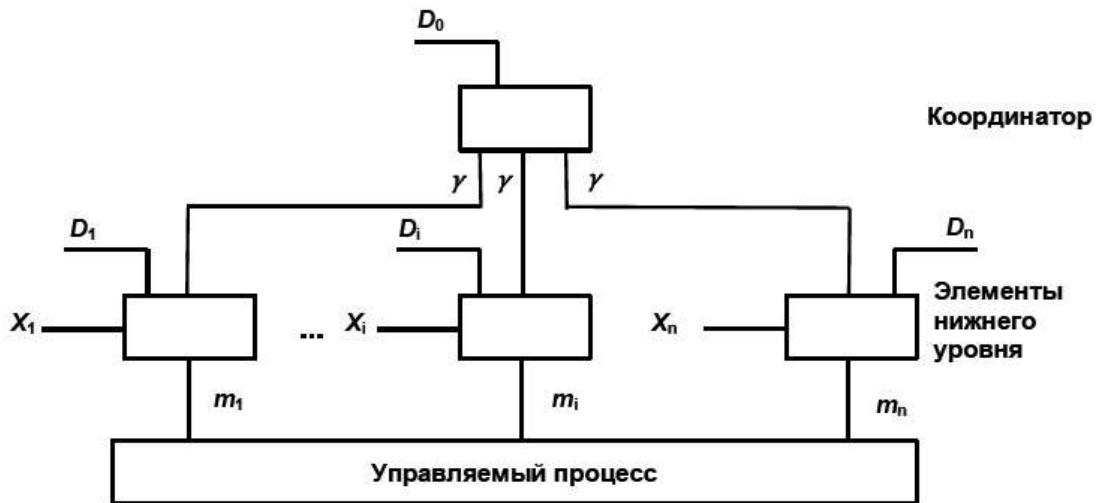


Рисунок 2.8 - Структура двухуровневой иерархической модели управления

Пусть  $D_0$  – конкретная задача вышестоящего элемента. Каждый координирующий сигнал  $\gamma \in \Gamma$  ( $\Gamma$  – множество координирующих сигналов) вышестоящего элемента конкретизирует задачу  $D_i(\gamma)$ , которую будет решать  $i$ -й

элемент нижестоящего уровня. Пусть  $\bar{D}(\gamma) = \{D_1(\gamma), \dots, D_n(\gamma)\}$  – совокупность таких задач ( $n$  – число элементов нижестоящего уровня). Задачи, решаемые элементами нижестоящего уровня, координируемые по отношению к задаче  $D_0$  вышестоящего уровня тогда и только тогда, когда справедливо предложение:

$$(\exists \gamma), (\exists x), [P(x, \bar{D}(\gamma)) \& P(\gamma, D_0)], \gamma \in \Gamma, x \in X, \quad (2.27)$$

то есть когда имеет решение задача  $D_0$  вышестоящего уровня и для координирующего сигнала  $\gamma$ , решающего данную задачу, имеется множество решений  $\bar{D}_i(\gamma)$  задач нижестоящих элементов.

Предложению (2.27) эквивалентно следующее:

$$(\exists \gamma), (\exists x), [P(x, \bar{D}(\gamma)) \& Q_0(\gamma, x)], \quad (2.28)$$

вследствие того, что справедливо утверждение  $P(\gamma, D_0) \Leftrightarrow (\exists x)[Q_0(\gamma, x)]$ , где  $Q_0$  – заданный предикат, определенный для всех пар:

$$(\gamma, x) : (\gamma, x) \in \gamma \times X; x = X_1 \times \dots \times X_n.$$

Общая (глобальная) задача системы определяется по отношению ко всему управляемому системой процессу в целом, поэтому множество решений этой задачи есть множество глобальных управлений  $M$ . Будем рассматривать случай, когда глобальные управляющие сигналы из множества  $M$ , действующие на управляемый процесс в целом, исходят только из элементов нижнего уровня. Тогда эти сигналы представляются отображением:  $\pi_M : X \rightarrow M$ . Задачи, решаемые элементами нижестоящего уровня, координируемые по отношению к данной глобальной задаче  $D$  тогда и только тогда, когда справедливо предложение:

$$(\exists \gamma), (\exists x), [P(x, \bar{D}(\gamma)) \& P(\pi_M(x), D)], \gamma \in \Gamma, x \in X, \quad (2.29)$$

то есть элемент вышестоящего уровня имеет возможность влиять на элементы нижестоящего уровня таким образом, что их результирующее воздействие на управляемый процесс в целом дает решение глобальной задачи системы.

Рассмотрим совместимость в многоуровневых системах на примере двухуровневой системы [192], в которой имеются задачи трех типов: глобальная, для элемента вышестоящего уровня, для элементов нижестоящего уровня. Эти задачи должны быть определенным образом согласованы между собой (совместимы). Для этого необходимо, чтобы координация задач  $D_i, i = \overline{1, n}$  элементов нижестоящего

уровня относительно задачи  $D_0$  вышестоящего уровня была соответствующим образом связана с глобальной задачей  $D$ . Постулат совместимости [94]:

$$\begin{aligned} (\forall \gamma), (\forall x), \{P(x, \bar{D}(\gamma)) \& Q_0(\gamma, x)\} \Rightarrow \{P(x, \bar{D}(\gamma)) \& P(\pi_M(x), D)\}, \\ x \in X, \gamma \in \Gamma, D = \{D_i\}_{i=1}^n, \end{aligned} \quad (2.30)$$

то есть решаемые элементами нижестоящего уровня задачи  $D_i, i = \overline{1, n}$  скоординированы относительно глобальной задачи  $D$  всякий раз, когда задачи  $D_i, i = \overline{1, n}$  скоординированы относительно задачи  $D_0$ , решаемой элементом вышестоящего уровня. Если постулат (2.30) выполняется, задачи совместимы. Если задачи совместимы, то решение глобальной задачи  $D$  достигается тогда, когда элемент вышестоящего уровня координирует элементы нижестоящего уровня по отношению к решению собственной задачи.

При использовании способа координации путем развязывания взаимодействий успех в координации элементов нижестоящего уровня можно оценить, исходя из степени рассогласованности между фактическими взаимодействиями элементов нижестоящего уровня и теми, которые были бы желательны с точки зрения этих элементов. Связующие сигналы, выбираемые элементами нижестоящего уровня, задаются отображением  $\pi_U : X \rightarrow U$ , то есть  $u \in U$  - это часть решения  $x \in X$ .

Принцип согласования взаимодействий дается предложением [94]:

$$\begin{aligned} (\forall \gamma)(\forall x), \{P(x, D(\gamma)) \& K(\pi_M(x)) = \pi_U(x)\} \Rightarrow P(\pi_M(x), D), \\ \gamma \in \Gamma, x \in X, u \in U, D = \{D_i\}_{i=1}^n. \end{aligned} \quad (2.31)$$

Принцип (2.31) утверждает, что управляющее воздействие  $m = \pi_M(x)$  на управляемый процесс решает поставленную глобальную задачу  $D$  тогда, когда  $x$  является решением задач  $D_i, i = \overline{1, n}$  элементов нижестоящего уровня и желаемые связующие сигналы  $u^\gamma = \pi_U(x)$  совпадают (согласованы) с фактическими связующими сигналами  $u = K(m), K : U \rightarrow M$ , имеющими место тогда, когда к процессу приложено управляющее воздействие  $m = \pi_M(x)$ . Другая форма записи принципа согласования взаимодействий [94]:

$$\begin{aligned}
 & (\forall \gamma)(\forall x), \{[P(x, D(\gamma)) \& q(\gamma, x) = \tilde{q}(\gamma, x)] \Rightarrow P(\pi_M(x), D)\}, \\
 & \gamma \in \Gamma, x \in X, D = \{D_i\}_{i=1}^n,
 \end{aligned} \tag{2.32}$$

где  $\tilde{q}$  и  $q$  - заданные функции, отображающие множество  $\Gamma \otimes X$  на числовую ось и используемые для оценки точности согласования между фактическими и желаемыми связующими сигналами элементов нижестоящего уровня.

Введем некоторые дополнительные обозначения. Для многоуровневой системы (2.24)–(2.26) не будем специально выделять множество управляющих воздействий  $M$ , а будем предполагать, что на каждом уровне  $k$  системы (2.24)–(2.26) для каждого класса эквивалентности  $z_j^k$  ( $j$ -го элемента  $k$ -го уровня) имеется множество  $F_j^k$ .

Соответственно, для всей модели (2.24)–(2.26) имеется множество  $\Gamma = \left\{ \left\{ \Gamma_j^k \right\}_{j=1}^{N_k} \right\}_{k=1}^K$ .

Элементами множества  $\Gamma_j^k$  являются координирующие воздействия  $\gamma_j^k$ . Пусть  $\Gamma^k = \left\{ \Gamma_j^k \right\}_{j=1}^{N_k}$ . При этом на нижнем уровне ( $k = K$ ):  $\Gamma^k = \left\{ \Gamma_j^k \right\}_{j=1}^{N_k} \leftrightarrow M$ .

В соответствии с приведенной формализацией уровень  $k=2$  порождает  $N_2$  двухуровневых систем, уровень  $k=i$  –  $N_i$  двухуровневых систем и, соответственно, уровень  $k=K-1$  –  $N_{K-1}$  двухуровневых систем (рисунок 2.9).

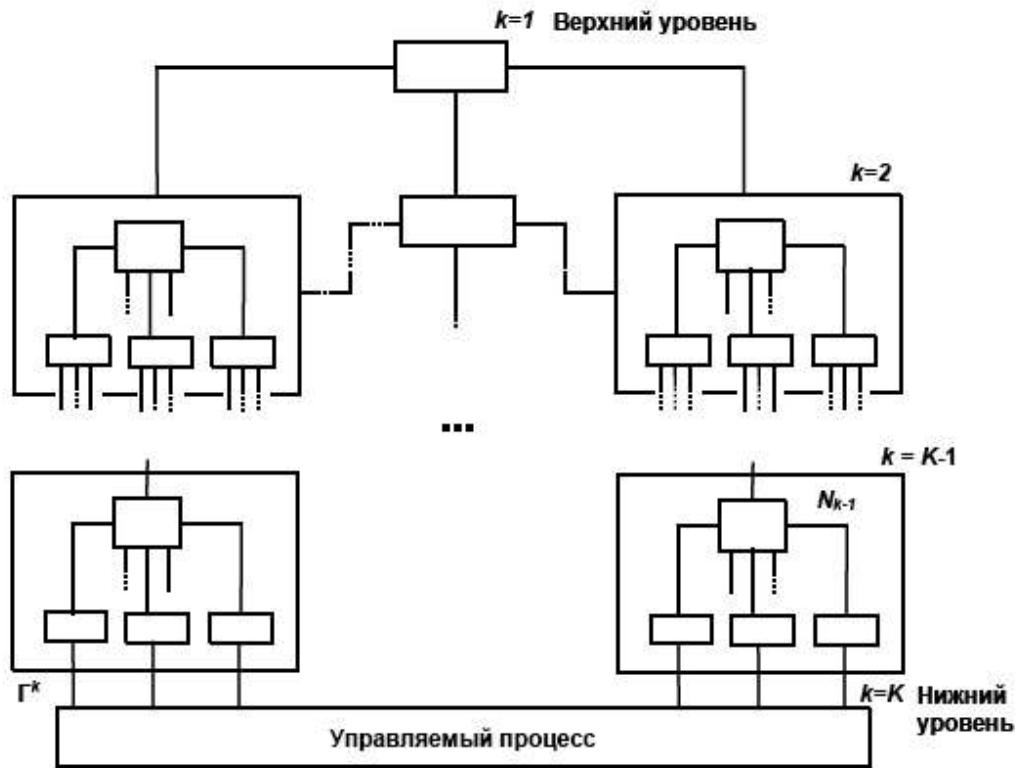


Рисунок 2.9 - Структура многоуровневой рекуррентной иерархической модели

Пусть множество управляющих воздействий представлено в виде:

$$\Gamma^k = \Gamma_1^k \times \dots \times \Gamma_{N_k}^k.$$

Предположим, что  $j$ -й класс эквивалентности  $k$ -го уровня системы (2.24)–(2.26) связан с определенным набором классов эквивалентности  $(k+1)$ -го уровня, то есть на  $(k+1)$ -ом уровне  $N_{k+1}$  классов эквивалентности собраны в  $N_k$  групп, связанных отношениями эквивалентности с  $N_k$  классами эквивалентности уровня  $k$ . Каждая такая группа представляет собой двухуровневую систему  $S_j^k$ , порожденную каждым классом эквивалентности  $z_j^k$ :

$$(\forall j, j = \overline{1, N_k}) (\forall k, k = \overline{1, K-1}) z_j^k \rightarrow S_j^k. \quad (2.33)$$

Общее число таких двухуровневых систем:

$$N_S = \sum_{k=1}^{K-1} N_k.$$

Группирование (2.33) по элементам вышестоящих уровней отражено в [73] введением вектор-индекса. Далее для упрощения записи вектор-индексы опускаются. Предполагается, что все координирующие воздействия, согласующие сигналы, локальные функции качества и т.д., рассматриваемые для определенного уровня двухуровневой системы (2.24)–(2.26), группируются по элементам этого уровня в соответствии с заданными отношениями эквивалентности.

Пусть связующие сигналы на  $k$ -ом уровне системы (2.24)–(2.26) определяются посредством отображения  $Q_k : \Gamma^k \rightarrow U^k$ ,  $k = \overline{1, K}$ , где  $U^k$  – множество связующих сигналов на уровне  $k$ .

Глобальная задача оптимизации  $D$  отражает глобальную цель многоуровневой системы и определяется парой  $(g, \Gamma^k)$ , где  $g$  – заданная целевая функция. Решением задачи  $D$  является такое воздействие  $\hat{\gamma}^k$  на нижнем уровне  $K$  системы, что:

$$g(\hat{\gamma}^k) = \min_{\Gamma^k} g(\gamma^k), \hat{\gamma}^k \in \Gamma^k.$$

Пусть  $D_j^k$  – задача, решаемая  $j$ -м элементом  $k$ -го уровня системы (2.24)–(2.26).

Задачи, решаемые на этом уровне, также будут оптимизационными. Локальная оптимизационная задача  $D_j^k(\gamma)$ ,  $(\gamma \in \Gamma_j^{k-1}, j = \overline{1, N_{k-1}}, k = \overline{2, K})$  определяется парой

$(g_{j\gamma}^k, X_{j\gamma}^k)$ , где  $g_{j\gamma}^k$  - заданная локальная целевая функция, определенная на множестве решений  $X_j^k$ , а  $X_{j\gamma}^k$  - заданное подмножество  $X_j^k$ , причем  $X_{j\gamma}^k = \Gamma_j^k \times U_j^k$ ,  $j = \overline{1, N_k}$ ,  $k = \overline{2, K}$ .

Решением локальной задачи  $D_j^k(\gamma)$  является элемент  $x_j^{k\gamma} \in X_{j\gamma}^k$ , такой, что:

$$g_{j\gamma}^k(x_j^{k\gamma}) = \min_{X_{j\gamma}^k} g_{j\gamma}^k(x_j^k), x_j^k \in X_{j\gamma}^k, j = \overline{1, N_k}, k = \overline{2, K}.$$

Имеются два способа воздействия на локальные задачи оптимизации [94]: через локальные целевые функции  $g_{j\gamma}^k$  или локальные функции качества  $G_{j\gamma}^k$  (координация путем изменения целей) и через множество допустимых решений  $X_{j\gamma}^k$  (координация путем изменения ограничений). При координации путем изменения целей задаются функции

$$G_{jB}^k : \Gamma_j^k \times U_j^k \times B^k \rightarrow V, j = \overline{1, N_k}, k = \overline{2, K},$$

где  $B$  – заданное множество;  $V$  – множество платежей. Пусть каждому  $\gamma_j^{k-1}, \gamma_j^{k-1} \in \Gamma^{k-1}$  приписано свое (единственное)  $\beta_j^{k\gamma} \in B^k$ . Тогда из  $G_{jB}^k$  получается локальная функция качества

$$G_{j\gamma}^k(\gamma_j^k, u_j^k) = G_{jB}^k(\gamma_j^k, u_j^k, \beta_j^{k\gamma}), j = \overline{1, N_k}, k = \overline{2, K}.$$

При координации путем изменения ограничений каждый координирующий сигнал  $\gamma_j^{k-1} \in \Gamma^{k-1}$  ( $k-1$ )-го уровня определяет для конкретного  $j$ -го локального элемента  $k$ -го уровня множество допустимых решений  $X_{j\gamma}^k$ , которое в нашем случае является подмножеством множества  $\Gamma_j^k \times U_j^k$ . Множества  $X_{j\gamma}^k$  представляют собой ограничения, накладываемые на локальные решения. Пусть  $X_{j\gamma}^k = \Gamma_j^k \times U_j^{k\gamma}$ , где  $U_j^{k\gamma}$  – заданное подмножество  $U_j^k$ . Тогда координация сводится к выбору соответствующих подмножеств связующих сигналов.

При решении задачи оптимизации на формальной рекуррентной модели нужно выбирать в классах эквивалентности представителей, имеющих определенные характеристики (связующие сигналы), влияющие на суммарные характеристики совокупностей таких представителей. В общем случае прогнозировать предварительно точные значения этих характеристик или диапазонов их изменения –

сложная задача, решение которой может быть основано в некоторых частных случаях на априорных знаниях о зависимости суммарных характеристик от характеристик конкретных представителей классов эквивалентности. В связи с этим, наиболее естественным для решения поставленной задачи является именно координирование путем развязывания взаимодействий.

При этом  $\forall \gamma_j^k, U_j^{k\gamma} = U_j^k, j = \overline{1, N_k}, k = \overline{2, K}$  и, следовательно,  $X_{j\gamma}^k = X_j^k = \Gamma_j^k \times U_j^k, j = \overline{1, N_k}, k = \overline{2, K}$ , то есть локальные оптимизационные задачи формулируются для решения независимо друг от друга, и каждый локальный элемент должен выбирать оптимальным образом не только координирующие сигналы для элементов нижележащего уровня, связанных с ним отношениями эквивалентности, но и локальные связующие сигналы.

Многоуровневая система (2.24)–(2.26) координируема, если истинно следующее предложение:

$$S_j^k, (\forall j, j = \overline{1, N_k}), (\forall k, k = \overline{2, K}), (\exists \gamma^{k-1}) (\exists x^{k\gamma}) (\exists \hat{\gamma}^k) : [\pi(x^{k\gamma}) = \hat{\gamma}^k], \quad (2.34)$$

где  $\hat{\gamma}^k$  - глобально оптимальное координирующее воздействие на нижнем уровне системы;  $x^{k\gamma} = (\gamma^{k\gamma}, u^{k\gamma})$ , так что каждая пара  $(\gamma^{k\gamma}, u^{k\gamma})$  является оптимальной;  $\pi: \Gamma^k \times U^k \rightarrow \Gamma^k$ .

В (2.34) утверждается, что система координируема, если для каждой подсистемы  $S_j^k, j = \overline{1, N_k}, k = \overline{1, K-1}$  существует координирующий сигнал  $\gamma^k \in \Gamma^k$  и локальные оптимальные решения  $(\gamma_j^{(k+1)\gamma}, u_j^{(k+1)\gamma})$  для элементов нижнего уровня подсистемы  $S_j^k$  такие, что координирующий сигнал  $\gamma^{k\gamma} = (\gamma_1^{k\gamma}, \dots, \gamma_N^{k\gamma})$  является глобально оптимальным, то есть  $\gamma^{k\gamma} = \hat{\gamma}^k$ .

Задачей любого элемента вышестоящего уровня в каждой подсистеме  $S_j^k, j = \overline{1, N_k}, k = \overline{1, K-1}$  является выработка оптимального координирующего сигнала. Каждая из этих задач должна быть сформулирована таким образом, чтобы ее решение являлось искомым оптимальным координирующим воздействием на элементы нижнего уровня подсистемы  $S_j^k$ . При формализации этих задач целесообразно использовать постулат совместимости (2.30) и принципы координации

[94], из которых мы выбрали принцип согласования. Принцип согласования взаимодействий (2.31), (2.32) для многоуровневой системы (2.24)–(2.26) с учетом проведенной формализации выражается следующим предложением:

$$\begin{aligned} S_j^k, (\forall j, j = \overline{1, N_k}), (\forall k, k = \overline{2, K}), (\forall \gamma_j^{k-1}), (\exists x^{k\gamma}) (\exists \hat{\gamma}^k): \\ : \{[(\gamma^k, u^k) = x^{k\gamma} \& L^k(\gamma^k) = u^k] \Rightarrow (\gamma^k = \hat{\gamma}^k)\} \end{aligned} \quad (2.35)$$

где  $L^k = \Gamma^k \rightarrow U^k$ .

Предложением (2.35) утверждается, что глобально оптимальное координирующее воздействие обеспечивается локальными решениями всякий раз, когда для каждой подсистемы  $S_j^k, j = \overline{1, N_k}, k = \overline{1, K-1}$  связующие сигналы для элементов нижнего уровня согласованы.

При использовании принципа согласования функции качества сравниваются локальные затраты (функции качества), а не связующие сигналы. Пусть

$$\begin{aligned} (\forall j, j = \overline{1, N_k}), (\forall k, k = \overline{2, K}), (\forall \gamma^{k-1}, \gamma^{k-1} \in \Gamma^{k-1}), \\ (\exists g_{j\gamma}^k : \Gamma^k \times U^k \rightarrow V) : [g_{j\gamma}^k(\gamma^k, u^k) = (g_{1\gamma}^k(\gamma_1^k, u_1^k), \dots, g_{j_k\gamma}^k(\gamma_{j_k}^k, u_{j_k}^k))] \end{aligned} \quad (2.36)$$

где  $j_k$  – число элементов нижнего уровня в подсистеме  $S_j^{k-1}$ .

С учетом (2.36) принцип согласования функций качества:

$$\begin{aligned} S_j^k, (\forall j, j = \overline{1, N_k}), (\forall k, k = \overline{2, K}), (\forall \gamma_j^{k-1}), (\exists x^{k\gamma}) (\exists \hat{\gamma}^k): \\ : \{[(\gamma^k, u^k) = x^{k\gamma} \& \bar{g}_{j\gamma}^k(\gamma^k, L^k(\gamma^k)) = \bar{g}_{j\gamma}^k(\gamma^k, u^k)] \Rightarrow (\gamma^k = \hat{\gamma}^k)\} \end{aligned} \quad (2.37)$$

то есть глобально оптимальное координирующее воздействие обеспечивается локальными решениями всякий раз, когда согласованы ожидаемые и фактические локальные затраты для каждой подсистемы  $S_j^k, j = \overline{1, N_k}, k = \overline{1, K-1}$ .

Выражениями (2.35), (2.37) определены принципы согласования взаимодействий и функций качества для многоуровневой системы (2.24)–(2.26).

При оптимизации элементами многоуровневой системы локальных целевых функций могут возникнуть конфликты (несогласованность) между локальными решениями [55, 95]. Принципы координации обеспечивают отсутствие конфликтов, если при оптимизации локальных целевых функций выполняются условия согласования. Эти условия, в свою очередь, обеспечиваются, если система обладает определенными свойствами. К таким свойствам относятся, например, монотонность, безусловная, ограниченная внутриуровневая или межуровневая согласованность и

другие. Указанные свойства определяются через взаимосвязи между целевыми функциями. Для определения этих взаимосвязей вводятся специальные вспомогательные функции [48]:

а) функция глобальных затрат  $g : \Gamma \rightarrow V$ ;

б) локальные функции затрат  $h_{j\gamma}^k : \Gamma \rightarrow V$ .

Тогда  $(\forall j, j = \overline{1, N_k}), (\forall k, k = \overline{2, K}), (\forall \gamma^{k-1} \in \Gamma^{k-1}), (\forall \gamma^k \in \Gamma^k)$ ,

$$[h_{j\gamma}^k(\gamma^k) = g_{j\gamma}^k(\gamma_j^k, L_j^k(\gamma_j^k))],$$

то есть  $h_{j\gamma}^k(\gamma^k)$  учитывает затраты, которые производит  $j$ -й локальный элемент  $k$ -го уровня при выработке локального координирующего воздействия  $\gamma_j^k$  и фактически реализуемом связном сигнале  $u_j^k = L_j^k(\gamma_j^k)$ .

в) межуровневые функции качества  $\psi_\gamma^k : V^n \rightarrow V$  в любой подсистеме  $S_j^k$ ,

$j = \overline{1, N_k}, k = \overline{1, K-1}$  для любого  $\gamma_j^k \in \Gamma_j^k$  существует единственное отношение

$$\psi_{j\gamma}^k \subseteq V^n \otimes V : \psi_{j\gamma}^k = [(h_{1\gamma}^{k+1}(\gamma^{k+1}), \dots, h_{j_{k+1}}^{k+1}(\gamma^{k+1})), h_j^k(\gamma_j^k)],$$

связывающее суммарные затраты элемента вышестоящего уровня с фактическими локальными затратами элементов нижнего уровня. Если  $\psi_{j\gamma}^k$  - функция, то:

$$h_j^k(\gamma_j^k) = \psi_{j\gamma}^k(h_{1\gamma}^{k+1}(\gamma^{k+1}), \dots, h_{j_{k+1}}^{k+1}(\gamma^{k+1})), j = \overline{1, N_k}, k = \overline{1, K-1}, \quad (2.38)$$

$\psi = \left\{ \psi_{j\gamma}^k \right\}_{j=1}^{N_k} \left\{ \gamma_j^k \right\}_{k=1}^{K-1}$  - множество межуровневых функций качества.

г) кажущаяся глобальная целевая функция  $g_\Gamma : \Gamma \otimes U \rightarrow V$ . Функция  $g_\Gamma$  дает суммарные затраты, какими они представляются локальным решающим элементам.  $g_\Gamma$  не всегда дает истинные суммарные затраты, потому что учитывает все пары  $(\gamma, u) \in \Gamma \otimes U$ , хотя для некоторых из этих пар нарушается условие  $u_j^k = L_j^k(\gamma_j^k)$ . Однако  $g_\Gamma$  представляет истинные суммарные затраты  $g(\gamma)$  всякий раз, когда  $u = L(\gamma)$  для  $\forall \gamma \in \Gamma$ .

Для исследования влияния свойств целевых функций на возникновение конфликтных ситуаций между глобальной и локальными целями вводятся дополнительные ограничения на координирующие управляющие воздействия.

Необходимые и достаточные условия координируемости локальных решений сетевентрического управления в многоуровневых распределенных системах на основе принципов внутриуровневой и межуровневой согласованности доказаны в работе [48].

Таким образом, проведенные исследования подтверждают координируемость систем сетевентрического управления региональной безопасностью, представленных введенной рекуррентной моделью, при удовлетворении специальных (но довольно общих) требований взаимосвязи между показателями (целевыми функциями), оптимизируемыми различными элементами этих многоуровневых систем.

## **Выводы**

В заключение второй главы, отметим полученные результаты:

1. Разработана методология комплексной информационной поддержки и координации сетевентрического управления безопасностью региональных социально-экономических систем. Методология обеспечивает автоматизацию деятельности и согласованность взаимодействия субъектов управления безопасностью на всех уровнях принятия решений на основе созданных информационных моделей с применением автономных программных агентов.

2. Разработана интегрированная концептуальная модель региональной безопасности для единого формализованного представления качественного состава объектов и субъектов, участвующих в процессах управления безопасностью региона, и отношений между ними. Совместно используются формализованные модели предметной области «региональная безопасность» и мультиагентной исполнительной среды информационно-аналитической поддержки. Формальный характер модели обеспечивает возможность определения в ее терминах процедур автоматизированного синтеза виртуальных организационных структур управления безопасностью региона, допускающих анализ выполнимости и программную реализацию.

3. Предложена расширенная система показателей региональной безопасности, созданная в результате обобщения существующих индикаторных систем и формирования интегральных показателей, полученных путем свертки ряда групп общепринятых индикаторов безопасности. Мониторинг и прогнозирование динамики этих показателей осуществляется с применением автономных программных агентов.

4. Создана интегрированная системно-динамическая модель региональной безопасности с применением метода синтеза имитационных моделей сложных систем [116] и технологии паттернов проектирования системно-динамических моделей [62]. Модель обеспечивает прогноз показателей региональной безопасности при заданных параметрах и ограничениях, а также используется для выявления тенденций в динамике этих показателей при различных сценариях развития региона. Получаемые на основе модели прогнозные оценки используются в процедурах формирования интегральных показателей региональной безопасности, а также в задачах синтеза виртуальных организационных структур управления безопасностью и координации процессов принятия решений.

5. Разработана и исследована многоуровневая рекуррентная иерархическая модель региональной безопасности для координации сетевоцентрического управления безопасностью региональных социально-экономических систем. В модели совмещаются координация путем развязывания взаимодействий и создание коалиций между агентами на разных уровнях управления. Самоорганизация агентов в коалиции и согласование локальных решений сетевоцентрического управления обеспечивают сокращение времени на выработку и реализацию решений системы организационного управления региональной безопасностью.

Полученные во второй главе результаты позволяют перейти к следующему этапу диссертационного исследования - разработке методов и технологий формирования мультиагентной виртуальной среды региональной безопасности.

# **ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ФОРМИРОВАНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ**

Для повышения оперативности решения задач сетевентрического управления региональной безопасностью в рамках распределенной виртуальной среды должны формироваться проблемно-ориентированные организационные структуры управления для каждой области региональной безопасности. Эти виртуальные структуры представляют собой согласованно взаимодействующую совокупность субъектов управления безопасностью и информационных ресурсов. При этом каждый субъект управления обладает целенаправленным поведением, имеет необходимый набор компетенций и ресурсов для реализации некоторого процесса или функции в направлении решения задач, возникающих на разных этапах развития разнородных кризисных ситуаций. Для этих целей разработаны методы и технологии мультиагентной виртуализации процессов принятия управленческих решений в сфере региональной безопасности на базе взаимодействия коалиций интеллектуальных агентов. Эти разработки представлены в данной главе работы и обеспечивают основу формирования распределенной мультиагентной среды региональной безопасности.

## **3.1. Метод автоматизированного синтеза виртуальных организационных структур управления региональной безопасностью**

В качестве формальной основы метода используется интегрированная концептуальная модель региональной безопасности (КМ МИАС), разработанная во второй главе диссертационной работы.

Автоматизированный синтез спецификаций виртуальных организационных структур управления региональной безопасностью (ВОСБ) основан на совместном анализе отношений и атрибутов объектов разработанной концептуальной модели, а также семантических описаний решаемых задач, информационных ресурсов и сервисов агентов. ВОСБ представляют собой согласованно взаимодействующую совокупность субъектов управления безопасностью, агентов и связанных с ними наборов информационных ресурсов и сервисов, сформированные на основе анализа

формализованных описаний кризисных ситуаций, решаемых задач и профиля деятельности потенциальных участников процессов управления безопасностью.

Анализ профиля субъектов управления безопасностью проводится с целью определения соответствия их компетенций (представляемых субъектами ресурсов и услуг) текущей или прогнозируемой кризисной ситуации.

Для описания профиля конкретного ведомства или субъекта управления безопасностью используется семантическая сервис-ориентированная архитектура [129, 167], в которой компетенции описываются как функциональные характеристики (входы и выходы) сервиса, а предпочтения - как специфические атрибутивные (нефункциональные) характеристики. Примеры моделей семантического описания профилей разнотипных субъектов управления в различных предметных областях (логистика, инновационная деятельность и др.) рассматриваются в работах [85, 167].

В условиях региональных кризисных ситуаций необходимо на основе анализа профиля и компетенций субъектов управления безопасностью определить участников соответствующих антикризисных мероприятий. При этом компетенции субъектов управления безопасностью должны удовлетворять заданным требованиям (нормативным, технологическим и т.д.) и ограничениям (пространственно-временным, ресурсным и т.д.), предъявляемым к процессу обеспечения безопасности в кризисных ситуациях определенного типа. Для поиска подходящих участников процессов управления региональной безопасностью в разнотипных кризисных ситуациях используется семантический реестр сервисов [128, 167], в котором все субъекты управления безопасностью регистрируют свои компетенции, описывающие функциональные и атрибутивные характеристики предоставляемых ими услуг (сервисов). В этом случае задача поиска потенциальных участников сводится к задаче поиска в реестре спецификаций сервисов, семантически сходных с исходной спецификацией кризисной ситуации или угрозы безопасности.

Атрибутивные (нефункциональные) характеристики позволяют семантически описать дополнительную информацию о профильной ориентации субъектов управления: географическое положение, контактная информация, данные о руководителе, показатели качества, рейтинг и т.п. Эти характеристики используются в дополнительных критериях подбора субъектов совместной деятельности для решения общих задач управления.

При формировании ВОСБ необходимо оценивать качество их конфигурации с учетом совместимости и согласованности взаимодействия входящих в их состав элементов, пространственно-временных и ресурсных ограничений, специфичных для процессов управления безопасностью в различных кризисных ситуациях. Оценивание направлено на сокращение количества возможных альтернативных вариантов структур, подлежащих окончательному «ручному» рассмотрению в процессе выработки и реализации управленческих решений в условиях кризисных ситуаций. Для этого используются созданные имитационные модели оценки показателей безопасности региона при различных сценариях развития кризисных ситуаций и модели координации, обеспечивающие самоорганизацию агентов в коалиции и согласование локальных решений сетевентрического управления региональной безопасностью. Результаты моделирования используются в процедурах синтеза ВОСБ и анализа качества их конфигурации для конкретных кризисных ситуаций.

### **3.1.1. Постановка задачи синтеза ВОСБ**

Рассмотрим формальную постановку задачи синтеза ВОСБ в терминах созданной во второй главе диссертации концептуальной модели (КМ МИАС).

Пусть для некоторого объекта безопасности  $O$  в момент времени  $t$  зафиксирована кризисная ситуация  $CS$  класса  $CSC$ . Модель кризисной ситуации в терминах КМ МИАС описывается следующим набором компонентов:

$$CS = \{O, Z, S, R, P, t\},$$

где  $O$  - объект безопасности;  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_N\}$ ,  $q = \overline{1..N}$  - совокупность взаимосвязанных задач, которые необходимо решить в условиях кризисной ситуации  $CS$ ;  $S$  - множество субъектов управления безопасностью в кризисной ситуации  $CS$ ;  $R$  - множество ресурсов, необходимых для решения задач  $z_q \in Z$ ,  $q = \overline{1..N}$ , причем  $R = R(t) = \{r_i(t)\}$ ,  $i = \overline{1..M}$ ,  $M$  - мощность множества  $R$ ;  $P$  - процесс управления безопасностью в кризисной ситуации  $CS$ , представляющий собой последовательное решение всех задач  $z_q \in Z$ ,  $q = \overline{1..N}$ ;  $t$  - параметр времени.

Для решения совокупности задач  $z_q \in Z$ ,  $q = \overline{1..N}$  субъекты управления безопасностью  $S$  должны обладать соответствующими компетенциями.

В качестве меры для оценки компетенций субъектов управления безопасностью предложено использовать их информационную и функциональную мощности:

$$I_{z_q} = \left( i_{z_q}^1, i_{z_q}^2, \dots, i_{z_q}^{r_I} \right), \quad i_{z_q}^k, \quad k = \overline{1..r_I} \quad - \text{информационная мощность субъекта}$$

управления безопасностью задает описания имеющихся у него в наличии ресурсов для информационной поддержки принятия решений в условиях кризисной ситуации.

$$F_{z_q} = \left( f_{z_q}^1, f_{z_q}^2, \dots, f_{z_q}^{r_F} \right), \quad f_{z_q}^j, \quad j = \overline{1..r_F} \quad - \text{функциональная мощность субъекта}$$

управления безопасностью определяет набор реализуемых им функций или услуг (сервисов), которые могут быть им предоставлены для обеспечения безопасности.

Семантика компетенций субъектов управления безопасностью определяется на прикладной онтологии региональной безопасности, созданной на основе КМ МИАС.

Тогда каждая задача, решаемая в рамках процесса управления безопасностью в кризисной ситуации, формально описывается в виде  $z_q = \langle \{F_{z_q}\}, \{I_{z_q}\}, C_{z_q} \rangle$ , где  $C_{z_q}$  - вектор пространственно-временных и ресурсных ограничений, накладываемых на процесс обеспечения безопасности в условиях кризисной ситуации (время кризисного реагирования, определяемое классом объекта безопасности; место (критическая область) возникновения кризисной ситуации; количество требуемых ресурсов для ее локализации; примерные затраты на проведение антикризисных мероприятий и т.д.).

Для решения задач  $z_q \in Z$  требуются исполнительные ресурсы, которые представлены субъектами управления безопасностью: профильными ведомствами и службами, ситуационными центрами, центрами кризисного реагирования, центрами мониторинга и прогнозирования социально-экономического развития, органами регионального управления, бизнес-структурами и т.д. Субъекты управления являются активными участниками процессов обеспечения региональной безопасности и обладают целенаправленным поведением. Это обеспечивает предпосылки для имитации и виртуализации проблемно-ориентированной деятельности этих субъектов посредством технологии автономных программных агентов [198], то есть субъекты управления безопасностью могут быть представлены как агенты в распределенной информационной среде региональной безопасности.

Пусть в контексте рассматриваемой постановки задачи синтеза ВОСБ также известно конечное множество агентов субъектов управления безопасностью

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ , такое, что каждому субъекту управления ставится в соответствие его виртуальный представитель в распределенной информационной среде, то есть  $G: S \rightarrow A$ ,  $SA \subseteq S \times A$ .

Тогда каждый из агентов субъектов управления безопасностью  $a_p \in A$ ,  $p = \overline{1..M}$  представляет компетенции своего владельца-пользователя в виртуальной среде, а именно  $I_{a_p}$  и  $F_{a_p}$ , где  $I_{a_p} = (i_{a_p}^1, i_{a_p}^2, \dots, i_{a_p}^{r_I})$  и  $F_{a_p} = (f_{a_p}^1, f_{a_p}^2, \dots, f_{a_p}^{r_F})$ , характеризующие доступные информационные и функциональные мощности по каждой компетенции  $i_{a_p}^{k^*}$ ,  $k^* = \overline{1..r_I}$ ,  $f_{a_p}^{j^*}$ ,  $j^* = \overline{1..r_F}$ . Также задан вектор ограничений  $C_{a_p}$ , определяющий возможности субъекта управления безопасностью.

Таким образом, задача синтеза ВОСБ заключается в подборе такого множества агентов  $K_{CS} \subseteq A$ , что их суммарная компетенция обеспечивает решение всех задач управления в условиях кризисной ситуации  $CS$  при слабоструктурированных неполных исходных данных, а также минимизацию вовлеченных в процесс управления безопасностью субъектов и ассоциированных с ними ресурсов, то есть  $R_{CS}(t) \rightarrow \min$ , причем ресурсы должны обеспечить решение всех задач  $z_q \in Z$ ,  $q = \overline{1..N}$  и должны быть доступны на интервале времени  $[t_0; T]$ , где  $t_0$  - время поступления информации о кризисной ситуации (идентификация входных данных в системе) в виде пользовательского запроса,  $T$  - момент времени принятия решения.

Для решения задачи синтеза ВОСБ в кризисной ситуации необходимо:

- 1) Установить соответствие между компетенциями  $(j, k)$ , необходимыми для решения задач в рамках кризисной ситуации, и компетенциями агентов субъектов управления безопасностью  $(j^*, k^*)$ . Решение данной задачи позволяет определить множество субъектов управления, участвующих в процессах обеспечения безопасности в данной кризисной ситуации, и сводится к определению семантической близости параметров описания ситуации и компетенций агентов, то есть установлению взаимно однозначного соответствия между компетенциями, необходимыми для решения задач в условиях кризисной ситуации, и компетенциями агентов субъектов управления безопасностью:  $f_{a_p}^{j^*} \leftrightarrow f_{z_q|CS}^j$  и  $i_{a_p}^{j^*} \leftrightarrow i_{z_q|CS}^j$ .

2) Определить требуемый набор ресурсов для поддержки принятия решений в кризисной ситуации в соответствии с выбранными критериями и с учетом того, что агент  $a_p \in A$  может участвовать в решении нескольких задач  $z_q \in Z$  при условии, если имеет доступные (свободные) ресурсы, определяемые его компетенциями.

Каждый агент в зависимости от своих компетенций может стремиться:

1) к максимальному использованию своих функциональных и информационных мощностей:

$$\sum_{j=1}^{r_F} (f_{a_p}^j - f_{z_q}^j) \rightarrow \min \text{ и } \sum_{k=1}^{r_I} (i_{a_p}^k - i_{z_q}^k) \rightarrow \min ; \quad (3.1)$$

2) к сокращению времени решения задачи  $z_q \in Z$ :

$$\sum_{j=1}^{r_F} t_{z_q} (f_{a_p}^j) \rightarrow \min \text{ и } \sum_{k=1}^{r_I} t_{z_q} (i_{a_p}^k) \rightarrow \min , \quad (3.2)$$

где  $t_{z_q} (f_{a_p}^j)$  и  $t_{z_q} (i_{a_p}^k)$  - время выполнения агентом  $a_p \in A$  задачи  $z_q \in Z$  в зависимости от своих компетенций  $f_{a_p}^j$  и  $i_{a_p}^k$ .

Для совместного решения задач  $z_q \in Z$  в контексте рассматриваемой кризисной ситуации агенты могут объединяться в коалиции. Коалиция агентов определяется как группа агентов, объединенных общими целями для решения задачи  $z_q \in Z$  и обладающих достаточной суммарной компетенцией для решения этой задачи. Групповая цель коалиции агентов определяется в виде целевой функции от индивидуальных целей входящих в данную коалицию агентов. Вступление нового агента в коалицию возможно только в том случае, когда это максимизирует целевую функцию, описывающую групповую цель коалиции. Возможны два способа формирования проблемно-ориентированных коалиций агентов: статическое и динамическое. В первом случае параметры, описывающие кризисную ситуацию  $CS$  и компетенции агентов  $A$ , фиксированы, во втором - меняются с течением времени. В работе исследован процесс динамического формирования коалиций агентов.

Совокупность коалиций агентов  $COAL_{CS} = \left\{ coal_{f_{z_q}^j, i_{z_q}^k} \subseteq A \right\}$ , объединяющая всех агентов субъектов управления безопасностью, участвующих в локализации

кризисной ситуации  $CS$ , соответствует синтезируемой ВОСБ. Таким образом, задача синтеза ВОСБ для управления региональной безопасностью в кризисных ситуациях связана с формированием проблемно-ориентированных коалиций агентов.

Компетенции агентов реализуются в виртуальной среде как информационные сервисы, которые агенты предоставляют по запросу пользователям, либо другим агентам. Пусть  $AS = \{as_1, as_2, \dots, as_Q\}$  - множество сервисов агентов. В концепции SOA (методология построения распределенных информационных систем на базе сервис-ориентированной архитектуры) сервисы описываются следующими компонентами  $as_i = (I_i, O_i, Y_i, E_i)$ ,  $I_i$  - входы сервиса,  $O_i$  - выходы сервиса,  $Y_i$  - условия корректной работы сервиса  $as_i$  и ожидаемых результатов его функционирования,  $E_i$  - состояние среды исполнения сервиса  $as_i$ , в которое она переходит в результате его выполнения.

Если рассматривать сервисы агентов как функции для решения задач  $z_q \in Z$  в рамках процесса управления безопасностью  $P$  в некоторой кризисной ситуации  $CS$ , то синтез ВОСБ представляет собой итеративный процесс подбора/композиции сервисов таких, что выходные ресурсы одного сервиса могут быть использованы в качестве входных ресурсов другого сервиса, обеспечивая при этом решение всех взаимосвязанных задач в условиях кризисной ситуации  $CS$ , то есть должны выполняться следующие условия:

$$\bigcup_{as_k \in AS_i} OUT(as_k) \cong \bigcup_{as_l \in AS_{i-1}} IN(as_l), \text{ либо } \bigcup_{as_k \in AS_i} IN(as_k) \cong \bigcup_{as_l \in AS_{i-1}} OUT(as_l), \quad (3.3)$$

где  $AS = \{as_j\}, j \in J$  - множество сервисов агентов;  $IN(as_i)$  и  $OUT(as_i)$  - множества входных и выходных ресурсов сервиса  $as_i$  соответственно. Виртуальная организационная структура формируется как направленный ациклический граф, вершинами которого являются сервисы агентов, а дугами – их входные и выходные ресурсы. Условием останова итеративного алгоритма может быть достижение целевой установки в виде заданного результирующего ресурса, получение на очередной итерации множества входных ресурсов, удовлетворяющих заданным требованиям (например, ресурсов, имеющихся в наличии у субъекта безопасности), или же истечение времени жизни агента, инициировавшего процедуру синтеза.

Для определения сходства множества входных и выходных ресурсов сервисов необходимо установить сходство экземпляров, которые описывают эти ресурсы. Так как ресурсы описываются в терминах онтологии предметной области и основаны на OWL, то степень семантического сходства экземпляров ресурсов определяется с использованием понятий эквивалентности и производной, определенных в теории дескрипционной логики [208]. Считается, что все элементы множества равны, если на них может быть определено одно из двух отношений, а именно, эквивалентности  $\equiv$  и включения  $\times$ . Степень сходства определяется на основе вычисления расстояния между концептами онтологии, в которой параметры описания ресурсов являются концептами. Для оценки степени соответствия ресурсов (сходства по входам и/или выходам сервисов), получаемых на выходе одного сервиса, входным ресурсам другого в условиях неполных слабоструктурированных разнородных исходных данных предложено использовать составную семантическую метрику, основанную на отношении d-эквивалентности, заданном на множестве ресурсов. Отношение d-эквивалентности используется в качестве критерия отбора включаемых в виртуальную структуру сервисов (агентов).

### **3.1.2. Общая характеристика метода**

Метод автоматизированного синтеза и анализа спецификаций виртуальных организационных структур управления региональной безопасностью ориентирован на реализацию в распределенной агентной программной среде. Агентная реализация метода дает возможность использовать в его рамках итеративные алгоритмы без существенных ограничений на их сходимость. В свою очередь, это позволяет гибко регулировать жесткость требований к элементам формируемых структур, увеличивая или уменьшая, тем самым, потенциальное количество альтернатив, подлежащих более детальному рассмотрению и анализу. Отличительной особенностью метода является обеспечение возможности синтезировать ВОСБ, в том числе, в условиях отсутствия точной формулировки цели их создания. Это дает возможность применения метода на начальных этапах жизненного цикла угроз региональной безопасности, связанных с зарождением и развитием кризисных ситуаций.

Метод обеспечивает формирование коалиций агентов, адекватных решаемым задачам управления безопасностью, что повышает эффективность информационного

обеспечения деятельности субъектов регионального управления и оперативность принятия решений на этапе планирования совместных антикризисных мероприятий. Синтез мультиагентных моделей ВОСБ основан на анализе семантического соответствия особенностей подлежащих решению задач, функциональных возможностей агентов и содержания информационных источников. Синтезируемые мультиагентные модели обеспечивают целостность и функциональную полноту (в рамках агентного представительства) формируемой структуры, а также получение оценок достаточности информационного обеспечения формируемой структуры для адекватной деятельности в условиях кризисных ситуаций.

Структура разработанного метода синтеза проблемно-ориентированных ВОСБ включает шесть основных этапов:

1. Формализация описаний разнотипных кризисных ситуаций в терминах КМ МИАС и определение параметров моделей решаемых задач. Исходными данными для реализации данного этапа являются онтологические описания кризисных ситуаций, решаемых задач, информационных ресурсов, компетенций и сервисов агентов системы в терминах КМ МИАС.
2. Формирование коалиций агентов, обладающих достаточными суммарными компетенциями для решения определенного на первом этапе перечня задач, и последующий синтез допустимых вариантов ВОСБ в рамках мультиагентной информационно-аналитической среды с учетом заданных ограничений. Состав коалиций и компетенции агентов могут динамически меняться в зависимости от внешних условий, например: подключения нового узла, агента или веб-сервиса к системе, появления в системе новых информационно-аналитических ресурсов или интеграции в виртуальную среду компонентов сторонних информационных систем. В простейшем случае коалиция может состоять из одного агента. Для расширения функциональных возможностей агентов предложено комбинировать сервисы, предоставляемые агентами, с зарегистрированными в системе веб-сервисами, доступными агентам.
3. Анализ потенциальной эффективности сформированных альтернативных вариантов ВОСБ для управления в условиях разнотипных кризисных ситуаций с учетом заданных ограничений. Качество конфигурации ВОСБ оценивается по таким критериям, как совместимость, связность и координируемость

образующих ВОСБ элементов, а также показателям безопасности, оптимизируемых ВОСБ.

4. Доопределение параметров ВОСБ в автоматизированном режиме, либо в режиме диалога с пользователем в случае остаточной неопределенности состава ВОСБ.
5. Оценка показателей безопасности, оптимизируемых ВОСБ, для разных сценариев развития кризисных ситуаций на основе имитационно-экспертного моделирования с учетом выбранных критерииев.
6. Доопределение необходимых параметров локального контекста агентов и реконфигурация ВОСБ в случае получения новой информации из внешней среды, либо по результатам прогноза изменения параметров кризисных ситуаций.

Метод позволяет в автоматизированном режиме формировать эффективные проблемно-ориентированные виртуальные организационные структуры управления, направленные на решение задач обеспечения региональной безопасности, на основе анализа формализованных описаний кризисных ситуаций и профиля деятельности субъектов управления безопасностью в рамках мультиагентной информационной среды региональной безопасности.

### **3.1.3. Процедуры синтеза ВОСБ**

Метод автоматизированного формирования мультиагентных моделей ВОСБ основан на формальных процедурах синтеза виртуальных инновационных бизнес-структур, предложенных в работах [66, 72, 85] и адаптированных для решения задач информационной поддержки управления региональной безопасностью.

Пусть имеется некоторое множество ресурсов  $R$ . Каждый ресурс принадлежит некоторому классу. Введем следующие обозначения:

$class(r)$  – класс ресурса  $r$ ,

$$CLASS(R') = \bigcup_{r \in R'} class(r) \text{ – множество классов ресурсов из набора } R'.$$

Каждый класс ресурса характеризуется набором атрибутов, представляющим собой кортеж  $\langle a_1, \dots, a_{Nc} \rangle$ , где  $Nc$  – количество атрибутов класса  $c$ . Обозначим набор атрибутов ресурса  $r$ , принадлежащего классу  $c$ , следующим образом:

$$\overline{attr}(r) = \langle a_1^r, \dots, a_{N_c}^r \rangle, \text{ где } a_i^r - \text{значение } i\text{-го атрибута ресурса } r.$$

Обозначим множества входных и выходных ресурсов сервиса  $as_i$  как  $IN(as_i)$  и  $OUT(as_i)$  соответственно.

Синтез ВОСБ представляет собой итеративный процесс подбора сервисов агентов таких, что выходные ресурсы одного сервиса могут быть использованы в качестве входных ресурсов другого сервиса. Таким образом, на множестве ресурсов должно быть задано некоторое отношение эквивалентности, определяющее «подходящие» в указанном смысле пары ресурсов.

В самом простом случае отношение эквивалентности множеств входных и выходных ресурсов определяется как точное соответствие ресурсов, как по составу, так и по значениям атрибутов, то есть:

$$CLASS(R_{OUT}^i) = CLASS(R_{IN}^{i-1}),$$

$$\text{где } R_{OUT}^i = \bigcup_{as_k \in AS_i} OUT(as_k), R_{IN}^{i-1} = \bigcup_{as_l \in AS_{i-1}} IN(as_l), \quad (3.4)$$

$$\overline{attr}(r_{in}) = \overline{attr}(r_{out}), \forall r_{in} \in R_{IN}^{i-1}, r_{out} \in R_{OUT}^i : class(r_{in}) = class(r_{out}). \quad (3.5)$$

Однако требование точного соответствия входных и выходных множеств ресурсов как по составу, так и по качеству (значениям атрибутов) для практических случаев оказывается слишком жестким, так как для реальных и прогнозируемых кризисных ситуаций и соответствующих им процессах управления безопасностью могут быть определены не все атрибуты входных и выходных ресурсов. Для сохранения работоспособности метода в подобных случаях необходимо смягчение требований к составу и качеству формируемых на каждом этапе наборов сервисов.

Для смягчения требований к точности соответствия входных и выходных наборов ресурсов сервисов, инцидентных в рамках структуры, определим на множестве ресурсов отношение  $d$ -эквивалентности, основанное на неубывающей функции от степени семантической близости определений соответствующих ресурсов.

В соответствии с КМ МИАС любой ресурс представим в виде тройки:

$$\bar{r} = (rf, rc, re), \quad (3.6)$$

где  $rf \in RF$  - предметная область ресурса;  $rc \in RC$  - класс ресурса;  $re$  - идентификатор экземпляра ресурса, представляющий собой множество значений атрибутов ресурса и/или описание атрибутов ресурса на естественном языке.

Определим степень семантической близости пары ресурсов как функциональное отображение:

$$\omega: R \times R \rightarrow [0,1].$$

Значение функции рассчитывается следующим образом.

$$\omega(\bar{r}_1, \bar{r}_2) = \frac{kf}{df(rf_1, rf_2)} + \frac{kc}{dc(rc_1, rc_2)} + \frac{ke}{de(re_1, re_2)}, \quad (3.7)$$

где:

$df(rf_1, rf_2)$  - дистанция между определителями предметных областей ресурсов  $\bar{r}_1$  и  $\bar{r}_2$  в классификаторе предметных областей кризисных ситуаций  $RF$ , определяется по формуле (2.11);

$dc(rc_1, rc_2)$  - дистанция между определителями классов ресурсов  $\bar{r}_1$  и  $\bar{r}_2$  в дереве классов  $RC$ , определяется по формуле (2.11);

$de(re_1, re_2)$  - нормированная оценка семантической близости описаний экземпляров ресурсов  $\bar{r}_1$  и  $\bar{r}_2$ ;

$kf, kc, ke$  - весовые коэффициенты, причем  $kf + kc + ke = 1$ .

Задача оценки семантической близости описаний экземпляров ресурсов осложняется двумя обстоятельствами. Во-первых, описания могут быть представлены в виде неструктурированного текста на естественном языке. Даже если подобное описание структурировано в виде пар `{имя_атрибута; значение_атрибута}` в силу того, что на пространства имен и значений атрибутов не накладывается ограничений (имена атрибутов и их значения могут быть произвольными), подобная структуризация не облегчает задачу автоматизации обработки семантики описания. Это обстоятельство заставляет использовать методы оценки семантической близости текстов на естественном языке. При этом в предлагаемом ниже способе оценки семантической близости описаний ресурсов заданные в них имена и значения атрибутов рассматриваются как словоформы, принадлежащие описанию ресурса на естественном языке, а сами описания трактуются как множества лексем языка. Второе существенное обстоятельство заключается в том, что текстовые описания

экземпляров коротки, что ограничивает возможность использования статистических мер для оценки их семантической близости.

Для оценки семантической близости описаний экземпляров ресурсов предлагается способ получения оценки, основанный на модификации меры Джаккарда (Jaccard) [65, 207]. Коэффициент Джаккарда определяет схожесть двух множеств как отношение мощностей их пересечения к объединению:

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}. \quad (3.8)$$

В предлагаемом способе оценки элементами сравниваемых множеств являются лексемы, составляющие описание ресурса. Во внимание принимаются два вида лексем – существительные и прилагательные, которые идентифицируются по лексической структуре (используемым словесным окончаниям). Пересечение множеств, стоящее в числителе, интерпретируется как множество пар лексем из первого и второго описания с ненулевой степенью семантической схожести. Значение в числителе определяется как сумма весов элементов такого «пересечения». Знаменатель представляет собой рассматриваемое количество пар семантически схожих лексем.

Для оценки семантической близости лексем используется тезаурус  $\langle T, TW_i, TS, TA, TG \rangle$ , представляющий собой сеть, связывающую множество терминов  $T$  отношениями синонимии, антоними, гипо-гиперонимии. На множестве  $T$ , кроме того, задано семейство отношений  $W_i$ , определяющее различные словоформы термина (падеж, число, род, и т.д.). Содержащиеся в тезаурусе термины разделены на два класса – существительные ( $TN$ ) и прилагательные ( $TAD$ ):  $T = TN \cup TAD$ .  $TW_i \subset T \times T$  - отношение, задающее словоформу  $i$ ;  $TS \subseteq T \times T$  - отношение синонимии;  $TA \subseteq TAD \times TAD$  - отношение антоними;  $TG \subseteq T \times T$  - отношение гипонимии.

Для формирования тезауруса может использоваться процедура его автоматического расширения, предложенная в работах [54, 82].

Определение семантической близости описаний ресурсов осуществляется последовательно: вначале определяется семантическая близость с точки зрения идентичных (равных или синонимичных) лексем. Лексемы, между которыми выявлены отношения равенства или синонимии из дальнейшего рассмотрения

исключаются. На втором этапе оценивается семантическая близость описаний с учетом словоформ лексем, отличных от основной. Лексемы, представляющие собой различные словоформы одного и того же термина, после этого также исключаются из рассмотрения. Далее выявляются лексемы, находящиеся в отношении антонимии, рассчитывается их вес, после чего антонимы исключаются из рассмотрения. На четвертом этапе определяется вес пар лексем из оцениваемых описаний ресурсов, находящихся в отношении гиперонимии. Наконец, на пятом этапе оценивается семантическая близость по отношению гипонимии. Данный процесс является итерационным: на каждой итерации выявляются лексемы, находящиеся в отношении гипонимии  $i$ -го уровня с исходной, рассчитывается оценка соответствующего компонента семантической близости, после чего данные лексемы также исключаются из дальнейшего рассмотрения.

Существенной проблемой является достаточно высокая степень неопределенности процесса развития разнородных кризисных ситуаций. Эта неопределенность является, в частности, следствием того, что многие параметры кризисных ситуаций на разных стадиях ее жизненного цикла могут быть неизвестны или не определены. Кроме того, региональная безопасность охватывает широкий спектр предметных областей, в рамках которых используются различные модели представления семантики данных. Для решения этой проблемы процедуры синтеза виртуальных организационных структур управления безопасностью используют меру семантической близости определений кризисных ситуаций, формализованную в виде отношения  $d$ -эквивалентности.

Отношение  $d$ -эквивалентности используется для формирования организационных структур управления безопасностью, удовлетворяющих абстрактному (не учитывающему предметно-ориентированные параметры элементов структуры) критерию качества. Для сокращения количества альтернативных вариантов синтезированных структур, удовлетворяющих этому критерию, используются специальные методы и модели оценки их эффективности (качества) в плане разрешения конкретных типов кризисных ситуаций с учетом имеющихся ограничений (время, ресурсы, затраты и т.д.). Это позволяет выделить и отсечь заведомо неперспективные варианты.

Отношение  $d$ -эквивалентности,  $d \geq 1$ , (обозначается  $\cong^d$ ) определено на множестве всех подмножеств ресурсов:

$$\cong^d \subseteq B(R) \times B(R). \quad (3.9)$$

Множества ресурсов  $A$  и  $B$  являются  $d$ -эквивалентными, если существует множество пар  $AB = \{(a_i, b_j)\}, a_i \in A, b_j \in B$ , таких что

$$\bigcup_i a_i = A, \bigcup_j b_j = B \text{ и } \omega(a_i, b_j) \geq d, \forall (a_i, b_j) \in AB. \quad (3.10)$$

Метод синтеза ВОСБ [66] разработан на базе метода, предложенного в работе [72], и также поддерживает три варианта формирования виртуальной организационной структуры, различающиеся поставленной целью, исходными данными и условиями останова:

- 1) Построение структуры, обеспечивающей достижение заданной цели – получение целевого ресурса (обратный синтез).
- 2) Построение структуры при заданном начальном наборе ресурсов (прямой синтез).
- 3) Построение допустимой структуры для заданного процесса или сервиса (двунаправленный синтез).

В первом случае процесс построения виртуальной структуры управления из имеющегося набора сервисов при заданной цели  $G$  осуществляется путем итеративного подбора множества сервисов  $AS_i \subset AS$ , выходные ресурсы которых находятся в отношении  $d$ -эквивалентности со множеством входных ресурсов набора сервисов, полученного на предыдущей итерации. Конкретное значение  $d$  устанавливается исходя из требуемой точности соответствия множеств входных и выходных ресурсов в формируемой структуре.

При этом полагаем  $IN(as_0) = \{G\}$ , где  $as_0$  – это фиктивный сервис, определяющий требования к выходным ресурсам формируемой структуры. То есть, цель формируемой структуры  $G$  также задается как элемент множества  $R$ . При этом на некотором подмножестве  $R : R' \subseteq R$  может задаваться отношение  $H$  такое, что

$$R'^0 = \{G\}. \quad (3.11)$$

То есть глобальная цель  $G$  может определяться как древовидная композиция подцелей нижележащего уровня, каждая из которых также есть элемент множества  $R$ . В соответствии с теоремой о покрытии достижение всех подцелей эквивалентно

достижению глобальной цели. Обозначим через  $D(g)$  множество подцелей некоторой цели  $g$ .

Формируемый на  $i$ -м шаге ( $i \geq 1$ ) набор сервисов должен удовлетворять условию:

$$\bigcup_{as_k \in AS_i} OUT(as_k) \stackrel{d}{\equiv} \bigcup_{as_l \in AS_{i-1}} IN(as_l). \quad (3.12)$$

В случае, если не найден сервис  $as$ , такой, что  $G \in OUT(as)$ , то процедура поиска осуществляется для всех подцелей  $G$  и далее в глубину дерева целей. То есть вначале полагаем

$$IN(as_0) = D(G). \quad (3.13)$$

Затем, если не найден набор сервисов  $AS_1$  такой, что

$$\bigcup_{as_k \in AS_1} OUT(as_k) \stackrel{d}{\equiv} IN(as_0), \quad (3.14)$$

осуществляется поиск набора сервисов для

$$IN(as_0) = D(G) \setminus D(G)^- \cup \bigcup_{g_k \in D(G)^-} D(g_k), \quad (3.15)$$

где  $D(G)^-$  – множество ресурсов, для которых не найдено «покрывающих» сервисов, то есть не существует такого  $AS^- \subseteq AS$ , что:

$$\bigcup_{as_k \in AS^-} OUT(as_k) \stackrel{d}{\equiv} D(G)^-. \quad (3.16)$$

Подобное «углубление» по дереву целей осуществляется до тех пор, пока не перестанет выполняться условие:

$$d(g_i, g_j) \leq \bar{d} = const \mid \forall g_i, g_j \in IN(as_0). \quad (3.17)$$

Аналогичным образом, входящий в структуру сервис может быть сформирован из составляющих его более простых сервисов или функций.

Условием останова поиска может быть достижение заданного диаметра графа виртуальной структуры или заданного количества итераций. Также в качестве условия останова может использоваться получение на очередной,  $i$ -й итерации структуры, для которой  $R_i^{IN}$  удовлетворяет заданным владельцем агента критериям – например, набор входных ресурсов является включением множества ресурсов, которыми располагает субъект-владелец агента.

Во втором случае начальными данными для формирования виртуальной структуры управления является исходный набор ресурсов (ресурсов, которыми располагает субъект безопасности, инициировавший посредством своего агента процесс синтеза). Задачей синтеза является формирование структур, в которых может принять участие субъект управления, располагающий заданным набором ресурсов.

Условием отбора сервисов, включаемых в структуру на  $i$ -м шаге, является:

$$\bigcup_{as_k \in AS_i} IN(as_k) \stackrel{d}{=} \bigcup_{as_l \in AS_{i-1}} OUT(as_l). \quad (3.18)$$

Так же, как и в первом случае, условием останова поиска может быть достижение заданного диаметра графа структуры, заданного количества итераций или же получение на очередной итерации структуры, выходные ресурсы которой удовлетворяют заданным требованиям.

Существенной особенностью управления региональной безопасностью является тот факт, что на начальных этапах жизненного цикла угроз региональной безопасности нет возможности четко сформулировать цель формирования искомой виртуальной структуры управления. Это обусловлено тем, что не всегда удается однозначно определить состав и компетенции потенциальных участников управления безопасностью в условиях кризисных ситуаций, а также ресурсы и сервисы, которые они должны предоставлять. По этой причине в информационной среде региональной безопасности также используется третий вариант синтеза виртуальных структур управления, заключающийся в том, что поиск потенциальных компонентов структуры ведется в обоих направлениях – как в сторону входных, так и в сторону выходных ресурсов. Отправной точкой процесса синтеза в данном случае является некоторый сервис  $as^*$  с заданными входным и выходным наборами ресурсов. Формирование виртуальных организационных структур заключается в итеративном поиске сервисов  $as_i^+$  и  $as_i^-$ , удовлетворяющих условиям:

$$as_i^+ : R_{i-1}^{OUT} \cap IN(as_i^+) \neq \emptyset; \quad (3.19)$$

$$as_i^- : R_{i-1}^{IN} \cap OUT(as_i^-) \neq \emptyset. \quad (3.20)$$

При этом на каждой итерации множества входных и выходных ресурсов текущей структуры формируются следующим образом:

$$R_0^{IN} = IN(as^*), \quad R_0^{OUT} = OUT(as^*), \quad (3.21)$$

$$R_i^{OUT} = OUT(as_i^+) \cup R_{i-1}^{OUT} \setminus IN(as_i^+) \cup OUT(as_i^-) \setminus R_{i-1}^{IN}, \quad (3.22)$$

$$R_i^{IN} = IN(as_i^-) \cup R_{i-1}^{IN} \setminus OUT(as_i^-) \cup IN(as_i^+) \setminus R_{i-1}^{OUT}. \quad (3.23)$$

Условием останова поиска может быть достижение заданного диаметра графа структуры, заданного количества итераций или же получение на очередной итерации структуры, входные и/или выходные ресурсы которой удовлетворяют заданным требованиям.

Для того, чтобы частично автоматизировать процесс ручного отбора спецификаций ВОСБ, представляющих интерес для пользователя и подлежащих дальнейшей проработке, осуществляется предварительная оценка качества сформированных моделей ВОСБ. Для оценки используется абстрактный критерий, характеризующий степень связности или целостности структуры. При этом дуги, связывающие элементы структуры, интерпретируются как элементы нечеткого множества, а масштабированные оценки близости соответствующих пар входных и выходных ресурсов сервисов – как их степени вхождения. В качестве оценки целостности структуры используется мера размытости нечеткого множества.

Показатель размытости интерпретируется как мера отличия нечеткого множества от обычного или четкого множества. В качестве показателя размытости используется линейный индекс нечеткости, который определяется через расстояние Хемминга и вычисляется по формуле:

$$\delta = 1 - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \omega_k(\vec{r}_i, \vec{r}_j), \quad (3.24)$$

где  $\omega_k(\vec{r}_i, \vec{r}_j)$  – оценки семантической близости соответствующих пар ресурсов сервисов;  $n$  – количество дуг, связывающих элементы структуры (число элементов нечеткого множества).

Для оценки деловой репутации (рейтинга) субъектов управления, участвующих в процессах обеспечения безопасности региона, используется механизм репутаций, предложенный в работе [85] для оценки надежности партнеров бизнес-сети на основе использования схемы распределенного управления доверительными отношениями. Репутация субъекта управления безопасностью определяется двумя составляющими: количеством успешных исходов кризисных ситуаций, в локализации которых он

принимал участие, а также уровнем репутации, делегированным ему другими субъектами, то есть:

$$r(s_i) = \hat{r}(s_i) + \sum_{s_j \in \hat{S}(s_i)} (d(s_i, s_j) \cdot \hat{r}(s_j)), \quad (3.25)$$

где  $\hat{r}(s_i)$  - «собственный» уровень репутации субъекта  $s_i$ ;

$\sum_{s_j \in \hat{S}(s_i)} (d(s_i, s_j) \cdot \hat{r}(s_j))$  - уровень репутации, делегированный субъекту  $s_i$

другими субъектами.

На заключительных этапах работы метода осуществляется доопределение в интерактивном режиме параметров синтезированных моделей ВОСБ, в результате чего формируются сценарии управления безопасностью в кризисных ситуациях и рекомендации по организации антикризисных мероприятий.

Рассмотренный метод синтеза спецификаций ВОСБ обеспечивает в условиях неоднородных слабоструктурированных исходных данных снижение трудозатрат на формирование и оценку эффективности конфигурации ВОСБ в случае известной цели, а также возможность формирования ВОСБ в случаях, когда цель не определена. Это позволяет применять метод для информационной поддержки процесса принятия управленческих решений на начальных этапах жизненного цикла угроз региональной безопасности, связанных с зарождением и развитием кризисных ситуаций. На этих этапах требуется оперативное определение необходимых исполнительных ресурсов и формирование согласованных планов совместных действий по реализации превентивных антикризисных мероприятий.

### **3.2. Метод формирования и комплексной оценки интегрального показателя региональной безопасности**

#### **3.2.1. Структура метода**

С использованием созданных имитационных моделей динамики показателей социально-экономического развития региона, представленных в разделе 2.2 диссертационной работы, для информационной поддержки задач синтеза сценариев антикризисного управления безопасностью региона разработан метод комплексной оценки интегрального показателя региональной безопасности, основанный на формировании и анализе матрицы региональной безопасности.

Матрица показателей, характеризующих состояние защищенности элементов и подсистем РСЭС - мера интегральной оценки региональной безопасности

$$M_{RSD} = \begin{vmatrix} \overset{\rightarrow i1}{p_{econ}} & \overset{\rightarrow 12}{p_{soc}} & \dots & \overset{\rightarrow 1n}{p_{ecol}} \\ \vdots & \overset{\rightarrow 22}{p_{soc}} & \dots & \overset{\rightarrow 2n}{p_{ecol}} \\ \overset{\rightarrow k1}{p_{econ}} & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \overset{\rightarrow q2}{p_{soc}} & \dots & \vdots \\ \emptyset & \emptyset & \dots & \overset{\rightarrow mn}{p_{ecol}} \end{vmatrix}, \quad (3.26)$$

где  $n$  - количество столбцов матрицы, соответствующее числу учитываемых в оценке составляющих региональной безопасности;  $m$  - число строк матрицы, соответствующее количеству частных показателей отдельных составляющих региональной безопасности с максимальным набором параметров.

Каждый элемент матрицы представляет собой вектор-функцию параметров состояния для каждой области региональной безопасности, либо скалярную величину. Базовое множество элементов матрицы включает следующие показатели:

$\overset{\rightarrow i1}{p_{econ}}, i = \overline{1, k}$  - показатели экономической безопасности региона;

$\overset{\rightarrow in}{p_{ecol}}, i = \overline{1, m}$  - показатели экологической безопасности региона;

$\overset{\rightarrow i2}{p_{soc}}, i = \overline{1, q}$  - показатели социальной безопасности региона.

Множество базовых показателей может быть обобщено или расширено в зависимости от специфики решаемых задач управления региональной безопасностью.

Функция нормализации показателей для описания критической ситуации:

$$g(p, p^-, p^+) = \begin{cases} \frac{p^-}{p}, & \text{если ограничение 1 типа} \\ \frac{p}{p^+}, & \text{если ограничение 2 типа} \\ \frac{p - p^-}{p^+ - p^-}, & \text{если ограничение 3 типа} \end{cases}, \quad (3.27)$$

$$M^- \leq M_{RSD} \leq M^+$$

$M^- = \{p_{ij}^-\}$  - нижняя граница значений,

$M^+ = \{p_{ij}^+\}$  - верхняя граница значений

где:  $p$  – полученная оценка показателя;  $p^-$  и  $p^+$  – допустимые max и min значения показателя.

Метод реализуется в несколько этапов (рисунок 3.1):

1. Информационный и проблемный мониторинг социально-экономического развития региона. На данном этапе проводится экспертный анализ реализации действующей стратегии социально-экономического развития региона с целью выявления целей, задач и проблем региональной безопасности. С привлечением экспертов из основных отраслей экономики региона осуществляется определение потенциальных внешних и внутренних угроз региональной безопасности, а также сбор данных о текущем состоянии РСЭС. Информационный мониторинг реализуется с применением интеллектуальных агентов, обеспечивающих сбор, обработку и формирование аналитической информации о влиянии изменяющихся угроз на состояние социально-экономической системы региона, а также с использованием современных компьютерных средств мониторинга. Информация поступает в систему мониторинга из распределенных гетерогенных источников данных, либо в режиме реального времени. Источниками информации являются базы данных ведомственных информационных систем, веб-ресурсы, корпоративные и социальные сети, данные пользователей, например, экспертов в области безопасности. Структура системы мониторинга социально-экономического развития региона показана на рисунке 3.2.



Рисунок 3.1 – Схема метода комплексной оценки и анализа интегрального показателя региональной безопасности

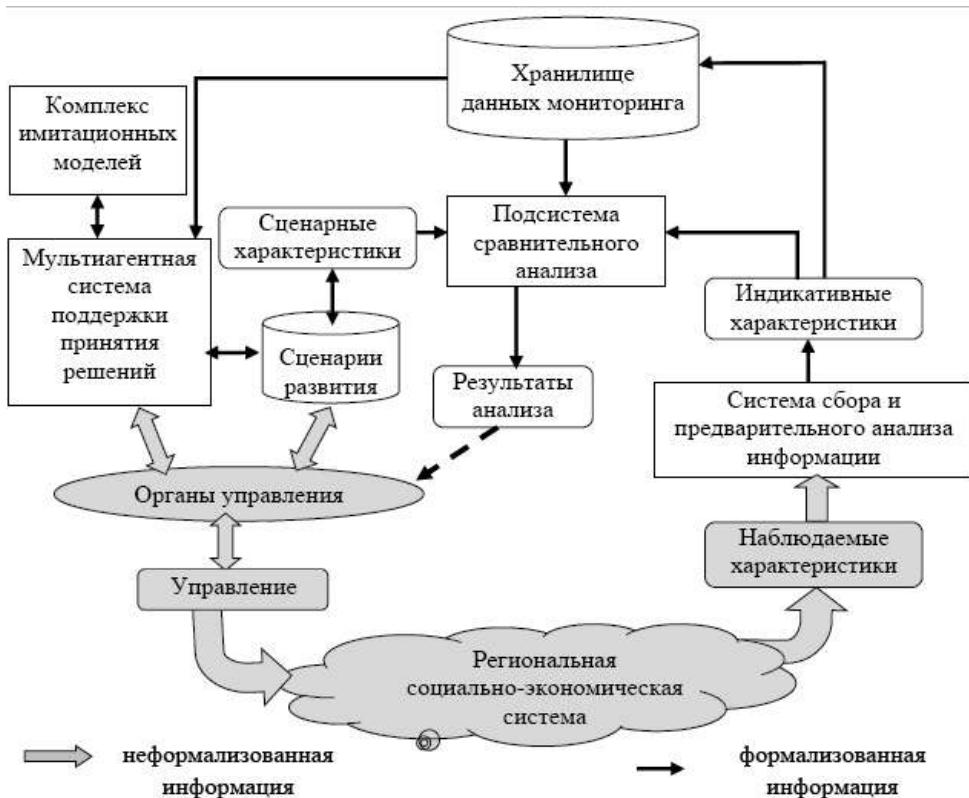


Рисунок 3.2 - Система мониторинга социально-экономического развития региона

2. Формирование системы показателей региональной безопасности и определение допустимой области их значений. На данном этапе осуществляется выделение существенных с точки зрения процесса управления показателей и факторов на них влияющих для каждой составляющей региональной безопасности, адекватных реализуемой стратегии социально-экономического развития региона.

3. Прогнозирование показателей региональной безопасности. Данный этап предусматривает получение оценок основных показателей безопасности региона на основе имитационно-экспертного моделирования.

4. Формирование интегрального показателя безопасности региона в виде матрицы региональной безопасности на основе полученных прогнозных оценок.

5. Синтез сценариев антикризисного управления региональной безопасностью. На данном этапе проводится анализ полученного интегрального показателя безопасности региона, представленного в виде матрицы региональной безопасности. Реализуется процедура сопоставления фактического и прогнозного состояний показателей региональной безопасности с допустимой областью значений. Если компоненты, образующие интегральный показатель, находятся в области допустимых значений, то развитие региона характеризуется допустимым (приемлемым для

общества с точки зрения социально-экономических и экологических факторов) уровнем безопасности. В противном случае, требуется корректирующее воздействие на управляемые параметры показателей региональной безопасности. Для этого с привлечением экспертов в интерактивном режиме, либо в автоматическом режиме самой мультиагентной информационной системой определяется набор показателей, приводящих к отклонению компонентов интегрального показателя региональной безопасности от допустимого диапазона значений, формируется план реализации корректирующих управляемых воздействий на идентифицированные критические элементы РСЭС, представленные в матрице региональной безопасности некоторым заданным набором показателей. Вектор корректирующих управляемых воздействий на критические показатели безопасности РСЭС определяет траекторию движения РСЭС в области устойчивых состояний, что обеспечивает достижение допустимого для текущих или прогнозируемых условий уровня региональной безопасности.

6. Повторный анализ стратегии социально-экономического развития региона на основе применения синтезированных сценариев антикризисного управления региональной безопасностью.

Примеры синтеза сценариев антикризисного управления безопасностью на основе использования матрицы региональной безопасности проиллюстрированы на задачах обеспечения кадровой безопасности региона. Результаты представлены в исследовании [188], выполненном под руководством автора диссертационной работы.

Метод реализован в рамках мультиагентной технологии информационного мониторинга угроз региональной безопасности [77] (рисунок 3.3). Технология использует формализованные модели жизненного цикла угроз безопасности региона и интеллектуальные агенты для сбора и обработки информации о влиянии изменяющихся угроз на состояние региональных систем. Технология обеспечивает автоматизированное формирование матрицы показателей региональной безопасности и прогнозирование динамики показателей средствами имитационного моделирования.

### **3.2.2. Модель интегрального показателя рискоустойчивого развития региона**

Известные модели устойчивого развития региональных социально-экономических систем (РСЭС), например [1, 43, 155, 177, 185, 191], строятся на

основе оценки показателя качества жизни населения, который в них формализуется. Наряду с этим показателем, важнейшим фактором устойчивого развития является безопасность жизни населения. Анализ отечественной и зарубежной научной литературы показал, что оценке последнего в существующих и разрабатываемых моделях уделяется недостаточное внимание. Вместе с тем, методические вопросы формальной оценки уровня безопасности развития РСЭС недостаточно проработаны. Комплексная оценка показателей уровня качества жизни и уровня безопасности позволяют говорить о возможности формирования и реализации целенаправленных управляющих воздействий, ориентированных на поддержание устойчивого поступательного развития РСЭС, подверженных влиянию разнородных внутренних и внешних факторов, то есть управления региональной безопасностью.



Рисунок 3.3 - Мультиагентная технология информационного мониторинга угроз региональной безопасности

Реализуемая при этом стратегия обеспечения региональной безопасности должна обладать способностью адаптации к динамике показателей социально-экономической среды, то есть должна быть адаптивной по отношению к влиянию

динамически изменяющихся условий социально-экономического, военно-политического, природно-техногенного характера, в том числе инспирированных человеком. Под *адаптацией* в общем случае понимается процесс целенаправленного изменения системы в соответствии с определенными критериями приспособления ее организационной структуры и функций к условиям внешней среды, обеспечивающих достижение целей системы. В содержательном плане это понятие близко к пониманию гибкости как способности приспосабливаться к новым условиям.

В общем виде математическая интерпретация интегрального показателя региональной безопасности (показателя рискоустойчивого развития РСЭС) может быть представлена в следующей форме:

$$IND_{RSD} = IND_{RS} \times IND_{SD}, \quad (3.28)$$

где  $IND_{RSD}$  – интегральный показатель региональной безопасности;  $IND_{RS}$  – интегральный показатель безопасности жизни населения,  $IND_{RS} \in [0;1]$ ;  $IND_{SD}$  – интегральный показатель уровня качества жизни населения (устойчивого развития региона),  $IND_{SD} \in [0;1]$ .

Интегральная оценка показателя  $IND_{RSD}$  получается в результате мультипликативной свертки критериев, что обусловлено необходимостью выполнения принципа «справедливого компромисса» между ключевыми показателями  $IND_{RS}$  и  $IND_{SD}$  с учетом их значимости.

Интегральный показатель устойчивого развития определяется исходя из показателя качества жизни населения  $IND_{QL}$ , который оценивается на основе показателей, характеризующих уровень экономического  $I_{ec}$ , социального  $I_s$  и экологического  $I_e$  развития. Другими словами, условно можно утверждать, что  $IND_{SD} \cong IND_{QL}$ . Таким образом,  $IND_{SD}$  представляет собой функцию показателей устойчивого развития РСЭС:  $IND_{SD} = f(I_{ec}, I_s, I_e, t)$ , причем  $I_{ec} = I_{ec}(P_{ec}, t)$ ,  $I_s = I_s(P_s, t)$ ,  $I_e = I_e(P_e, t)$ , где  $t$  - параметр времени;  $P_{ec}, P_s, P_e$  - множество макроэкономических показателей, по которым вычисляются базовые показатели  $I_{ec}, I_s, I_e$  соответственно. Тогда задача определения интегрального показателя устойчивого развития заключается в оценке составляющих его базовых показателей

$I_{ec}, I_s, I_e$  и степени их гармонизации с последующим варьированием значений параметров этих показателей для достижения допустимого уровня их гармонизации:

$$IND_{SD} = f(I_{ec}, I_s, I_e, t) \xrightarrow{\alpha} opt, \quad (3.29)$$

где  $\alpha$  – степень гармонизации показателей  $(I_{ec}, I_s, I_e)$ .

Традиционно данная задача решается методами имитационно-экспертного моделирования [3, 46, 115, 177] на основе прогнозирования макроэкономических показателей РСЭС.

Степень гармонизации показателей устойчивого развития вычисляется по формуле:

$$\alpha = \arccos \left( \frac{I_{ec} + I_e + I_s}{\sqrt{3} \sqrt{I_{ec}^2 + I_e^2 + I_s^2}} \right), 0 \leq \alpha \leq \arccos \left( \frac{1}{\sqrt{3}} \right). \quad (3.30)$$

Геометрическая интерпретация определения степени гармонизации показателей устойчивого развития  $\alpha$  показана на рисунке 3.4.

На рисунке 3.4 показатель качества жизни населения  $IND_{QL}$  представляет собой отображение функции  $IND_{SD}$ , характеризующей состояние показателей устойчивого развития, на идеальный (единичный) вектор с координатами  $(1;1;1)$ .

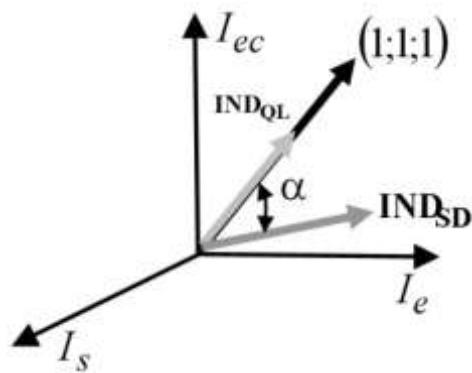


Рисунок 3.4 - Геометрический смысл степени гармонизации показателей устойчивого развития  $\alpha$

Обобщенный показатель экономического развития РСЭС вычисляется на основе показателя региональной конкурентоспособности  $I_{gc}$  и показателя региональной экономической свободы  $I_{ef}$ :  $I_{ec} = f(I_{gc}, I_{ef}, t)$ .

Обобщенный показатель развития социальной сферы региона вычисляется на основе показателя качества жизни  $I_q$ , показателя развития человеческого потенциала  $I_{hd}$  и показателя обществ знаний  $I_{ks}$ :  $I_s = f(I_q, I_{hd}, I_{ks}, t)$ .

Обобщенный показатель экологического потенциала РСЭС вычисляется на основе показателя экологической эффективности предприятий региона и государственной политики в сфере защиты окружающей среды  $I_{epi}$  и показателя экологической устойчивости региона  $I_{esi}$ :  $I_e = f(I_{epi}, I_{esi}, t)$ .

$P_{gs}, P_{ef}, P_q, P_{hd}, P_{ks}, P_{esi}, P_{epi}$  - множество макроэкономических показателей, по которым вычисляются базовые показатели  $I_{ec}, I_s, I_e$  соответственно.

Резюмируя выше сказанное, математическая модель задачи оценки интегрального показателя устойчивого развития РСЭС, выраженного через показатель качества жизни населения, может быть представлена в виде:

$$IND_{QL} = \begin{cases} IND_{SD} = f(I_{ec}, I_s, I_e, t) \\ I_{ec} = f(I_{gc}, I_{ef}, t) \\ I_s = f(I_q, I_{hd}, I_{ks}, t) \\ I_e = f(I_{epi}, I_{esi}, t) \end{cases} \xrightarrow{a} opt. \quad (3.31)$$

Определение интегрального показателя безопасности жизни населения  $IND_{RS}$  и выражающих его параметров упирается в сложность, а иногда и невозможность количественного измерения уровня устойчивости социально-экономического развития без учета «нечеткой», качественной информации о предпочтениях различных критериев, о желаемом характере процессов развития – росте или уменьшении соответствующих параметров, о диапазоне их изменения. В связи с этим, задача оценки показателей безопасности функционирования РСЭС в многомерном пространстве признаков – это нечеткая многокритериальная задача. Для ее решения предлагается дополнительно оперировать специальными математическими методами теории нечетких множеств [92]. Это позволяет формализовать субъективные данные, связанные с кризисными явлениями в экономике, экологии, социальной и других сферах региона, и на этой основе получить согласованные количественные оценки показателей региональной безопасности.

Решение данной задачи получено на основе адаптации общепринятой методологии оценки состояний надежности функционирования сложных технических (промышленных) систем [102], основанной на вычислении центра и индекса безопасности [109]. Для этого разработаны нечеткие вычислительные модели оценки состояния показателей функционирования РСЭС, что позволило определить для различных составляющих региональной безопасности (экономической, кадровой, экологической, социальной и др.) такие характеристики, как область безопасности, центр безопасности и индекс безопасности РСЭС. Область безопасности представляет собой множество устойчивых состояний РСЭС. Центр безопасности – подмножество наиболее безопасных состояний РСЭС в пространстве устойчивых состояний. В общем случае область безопасности и центр безопасности не совпадают. Центр безопасности позволяет численно определить смещение текущего состояния системы от наиболее безопасного состояния. Индекс безопасности количественно характеризует удаленность текущего состояния системы от центра безопасности, то есть показывает степень безопасности для данного состояния системы.

Тогда интегральный показатель безопасности  $IND_{RS}$  в формуле (3.28) вычисляется следующим образом:

$$IND_{RS} = \sum_{i=1}^n w_i Ind_i, \quad (3.32)$$

где  $Ind_i$  - индекс безопасности, рассчитываемый на основе оценки показателей  $i$ -й составляющей региональной безопасности;  $n$  – число индексов безопасности, характеризующих различные аспекты региональной безопасности (экономическую, социальную, экологическую и другие компоненты региональной безопасности);  $w_i$  – весовые коэффициенты, определяющие степень значимости составляющих региональной безопасности на выбранном цикле развития РСЭС (определяются эксперты путем), причем  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ . Индексы безопасности  $Ind_i$  вычисляются на основе оценки области безопасности и центра безопасности исследуемых показателей региональной безопасности. Вычислительные процедуры описаны в работах [67, 90].

В результате, получаем интегральную оценку интегрального показателя рискоустойчивого развития РСЭС  $IND_{RSD}$  согласно выражению (3.28).

Из опытных соображений принято, что значение интегрального показателя региональной безопасности  $IND_{RSD}$ , рассчитываемое по формуле (3.28), должно находиться в диапазоне  $[0,6;1]$ , что характеризует состояние РСЭС как безопасное.

На основе использования предложенной в этом разделе работы модели формирования интегрального показателя рискоустойчивого развития РСЭС разработанный метод комплексной оценки и анализа интегрального показателя региональной безопасности при необходимости может быть дополнен еще одним этапом с целью получения более точных количественных оценок показателей, образующих матрицу региональной безопасности. На этом этапе определяются область, центр и индекс безопасности для базовых классов региональной безопасности на выбранном цикле развития РСЭС. На первой фазе этапа определяются области безопасного функционирования РСЭС на выбранном цикле развития региона для каждой составляющей региональной безопасности, характеризующейся набором определенных показателей. Вторая фаза ориентирована на вычисление центра безопасности РСЭС (наиболее безопасного ее состояния) на основе анализа статистических данных и экспертных оценок. На третьей фазе осуществляется вычисление индекса безопасности, представляющего собой количественную оценку, которая определяет удаленность текущего состояния РСЭС на исследуемом цикле развития от состояния, характеризующего центр безопасности. На заключительной четвертой фазе реализуется свертка критериев оценок анализируемых составляющих региональной безопасности, полученных на предыдущих этапах, и вычисление интегрального показателя безопасности РСЭС.

Предложенный метод и созданные модели нашли приложение в задачах управления безопасностью РСЭС Арктической зоны России. Интегральные оценки показателей для каждой составляющей региональной безопасности арктических регионов представлены в таблице 3.1. На базе этих показателей построена матрица региональной безопасности для Арктической зоны Российской Федерации (рисунок 3.5).

Таблица 3.1 - Прогнозные оценки интегральных показателей базовых составляющих региональной безопасности арктических регионов

<b>Составляющие региональной безопасности</b>	<b>Арктические регионы России</b>					
	Мурманская область	Архангельская область	Ненецкий автономный округ	Ямало-ненецкий автономный округ	Красноярский край	Республика Саха (Якутия)
Экономическая безопасность	0,5	0,5	0,7	0,8	0,5	0,6
Экологическая безопасность	0,4	0,5	0,5	0,8	0,6	0,6
Социальная безопасность (уровень социальной напряженности/стабильности)	0,8	0,7	0,6	0,8	0,7	0,7
Кадровая безопасность (уровень кадрового обеспечения базовых отраслей региональной экономики)	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7
Иновационно-технологическая безопасность (уровень развития науки и технологий)	0,8	0,7	0,4	0,8	0,8	0,8
Энергетическая безопасность	1	0,6	0,6	0,8	0,5	0,6
Продовольственная безопасность	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3

### Матрица региональной безопасности

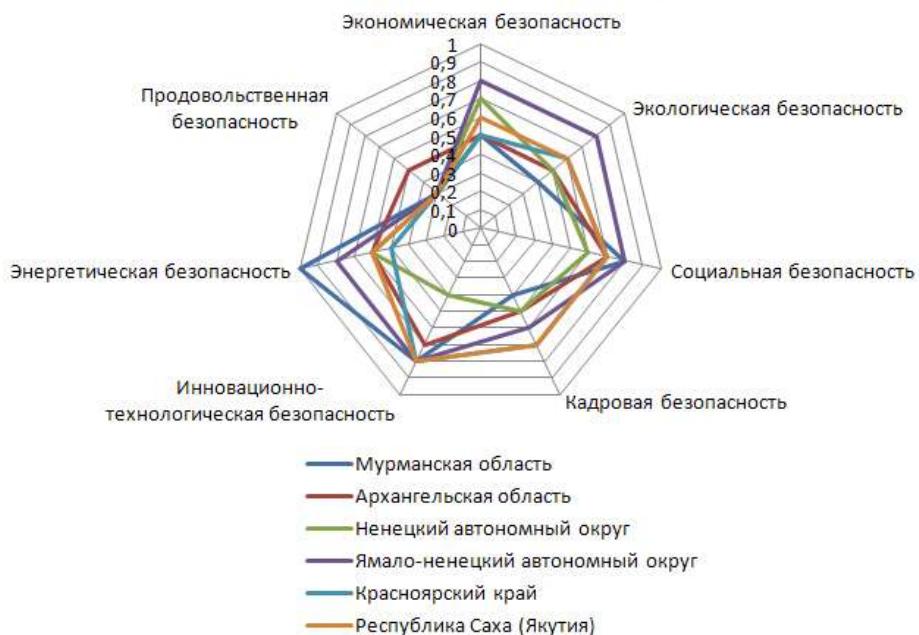


Рисунок 3.5 – Лепестковая диаграмма матрицы региональной безопасности для Арктической зоны Российской Федерации

### **3.3. Мультиагентная технология информационной поддержки управления региональной безопасностью**

#### **3.3.1. Мультиагентная виртуализация процессов управления региональной безопасностью**

Анализ современного состояния исследований в области разработки прикладных мультиагентных систем (МАС) показал, что, несмотря на большой потенциал развития современных МАС и базирующихся на них технологических решений для различных предметных областей, вопросы приложения агентных технологий для задач информационной поддержки управления региональной безопасностью ранее не рассматривались и, как следствие, недостаточно изучены.

Как уже отмечалось, применение мультиагентного подхода [212] в сочетании с технологией оперативного динамического формирования исполнительной среды «под задачу» на основе интегрированной концептуальной модели [64] обеспечивает возможность виртуализации (компьютерной имитации) деятельности субъектов управления безопасностью в условиях разнородных кризисных ситуаций за счет делегирования отдельных функций управления и принятия решений автономным программным агентам. Коалиционное взаимодействие интеллектуальных агентов позволит обеспечить самоорганизацию и работоспособность виртуальной среды региональной безопасности, а также координацию группового принятия решений. Формирование коалиций агентов - это один из эффективных подходов к синтезу и конфигурированию мультиагентных моделей организационных структур управления региональной безопасностью в разнородных кризисных ситуациях с учетом динамики меняющихся условий. Агентный мониторинг и агентное управление призваны повысить эффективность информационного обеспечения региональной безопасности.

Элемент или подсистема РСЭС представляется в мультиагентной среде собственной моделью (агентом или коалицией агентов). Требования, которым должна удовлетворять эта модель, явно соотносятся с характеристическими требованиями к агентам [120] - модель должна быть относительно самостоятельной, но «уметь» взаимодействовать с «окружающим миром». Самостоятельность необходима для того, чтобы обеспечить возможность гибкого использования моделей объектов

региональной системы в разных комбинациях при решении различных задач. Наличие множественных взаимодействий между компонентами является одним из основных свойств региональной системы.

Таким образом, использование агентных технологий в сфере информационного обеспечения региональной безопасности обусловлено тремя решающими факторами: высокой динамичностью среды деятельности субъектов управления безопасностью, необходимостью координации децентрализованного принятия решений и учета человеческого фактора. Последнее выражается в активном влиянии управляемой системы на процесс управления.

Под *виртуализацией* в работе понимается процесс отображения объектов физического мира в виртуальное пространство посредством формирования модели среды двух искусственно имитируемых реальностей: мультиагентная исполнительная среда и семантическое пространство знаний. Исполнительная среда представляет собой систему агентов и веб-сервисов. Семантическое пространство знаний формируется на основе онтологических моделей предметных областей, для которых предназначены агенты, и сетей информационных ресурсов. Виртуализация предполагает создание виртуальных представителей субъектов управления – программных агентов, моделирующих их поведение и взаимодействие в виртуальной среде, и установление отношений между ними посредством переговорного процесса.

Виртуализация обеспечивает:

- моделирование физического мира;
- средство неявного управления (информационного воздействия) на объекты физического мира и контроль за их состоянием;
- средство для обучения и накопления знаний, синтеза новых знаний.

На сегодняшний день выделяют два основных способа реализации такой виртуализации – аппаратная виртуализация (создание робототехнических систем) и программная виртуализация (создание автономных проактивных программ – агентов). В настоящей работе рассматривается преимущественно второй способ виртуализации на базе технологии автономных программных агентов.

В качестве инструментария реализации мультиагентной виртуализации используются технология автономных программных агентов, онтологии, методы обучения агентов, средства имитационного моделирования, средства интеграции

разнородных информационных ресурсов и сервисов. В совокупности данные средства обеспечивают основу создания проблемно-ориентированных виртуальных проактивных систем, основанных на знаниях.

*Виртуальная проактивная система* – это интеллектуальная информационная система, построенная на базе технологий автономных агентов или веб-сервисов, технологий Семантического Веба, имеющая сетевентрическую сервис-ориентированную архитектуру и поддерживающая свойства открытости, распределенности, адаптивности и способность к самоорганизации. Эти системы предназначены, главным образом, для мониторинга поведения сложных объектов и интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению этими объектами. На практике, как правило, реализуются в виде локальных или распределенных программных тренажерно-моделирующих комплексов, виртуальных анализаторов (мониторов), виртуальных центров управления на базе облачных и Grid-технологий [5, 46, 59, 108, 148].

Процесс мультиагентной виртуализации схематично показан на рисунке 3.6.

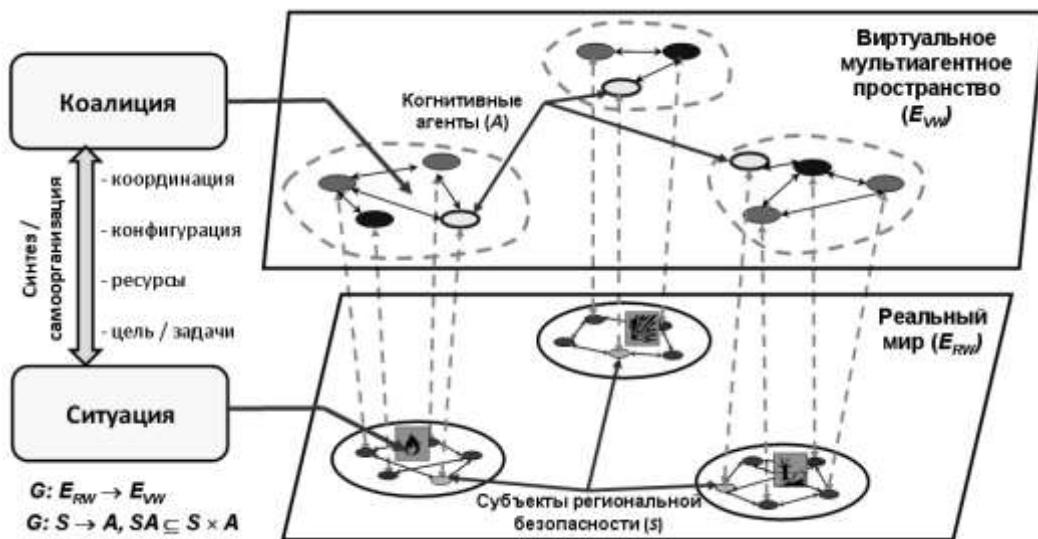


Рисунок 3.6 - Технология мультиагентной виртуализации процессов управления региональной безопасности.

$$G: E_{RW} \rightarrow E_{VW}, S \rightarrow A, SA \subseteq S \times A, \quad (3.33)$$

где  $G: E_{RW} \rightarrow E_{VW}$  - функция отображения множества объектов реального мира в виртуальное пространство,  $S$  - множество субъектов проблемно-ориентированной деятельности,  $A$  - множество виртуальных деятелей (агентов),  $SA$  -

симметричное отношение соответствия «субъект - агент», ассоциирующее субъекта-пользователя с представляющим его в виртуальной среде программным агентом.

При этом мультиагентная среда предоставляет прямой доступ к объектам и ресурсам виртуального пространства для имитации поведения исследуемой системы, для которой построено виртуальное пространство, при различных управляющих воздействиях на эту систему в соответствии с законами реального мира.

Под *агентом* понимается аппаратная или программная сущность, действующая либо от лица пользователя (субъекта управления), либо от лица системы, делегировавшей агенту полномочия на выполнение тех или иных действий в интересах достижения целей при решении пользовательских задач [212]. Существует большое разнообразие видов агентов [150].

Для адекватной виртуализации процессов управления региональной безопасностью в условиях децентрализованного принятия решений в настоящей работе используются и реализуются мобильные интеллектуальные агенты, имеющие гибридную архитектуру. Такие программные агенты могут быть отнесены к классу когнитивных агентов, представляющих собой самостоятельные интеллектуальные системы, моделирующие поведение и взаимодействие субъектов проблемно-ориентированной деятельности в виртуальной среде.

Отличительной особенностью когнитивных агентов, по сравнению с другими типами агентов, является реализация полного цикла «восприятие - познание - исполнение» в мультиагентной исполнительной среде. Основная задача когнитивного агента в виртуальной среде региональной безопасности - мониторинг и контроль показателей региональной безопасности в реальном масштабе времени в результате взаимодействия с внешней средой, с пользователем (субъектом управления) и с другими агентами.

Базовый набор функций когнитивных агентов включает:

- 1) предоставление специализированных интерфейсов для различных категорий пользователей и решаемых задач;
- 2) сбор, обработка и формирование аналитической информации по различным аспектам региональной безопасности, мониторинг показателей безопасности;
- 3) формирование ВОСБ «под задачу» с учетом спецификации кризисной ситуации и ее оперативного контекста;

- 4) моделирование региональных кризисных ситуаций и оценка показателей безопасности региона в многомерном пространстве признаков.

Расширение сферы приложения агентно-ориентированной виртуализации на задачи информационной поддержки управления региональной безопасностью обеспечило предпосылки для развития нового класса МАС - ситуационно-коалиционные мультиагентные системы (СК МАС). Эти системы ориентированы на информационную поддержку принятия решений в области управления безопасностью слабоструктурированных систем, к которым относятся социально-экономические системы. СК МАС представляет собой множество взаимодействующих коалиций агентов и виртуальных сетей ресурсов, динамически формируемых в условиях разнотипных кризисных ситуаций. Под ситуацией понимается состояние исследуемой системы, характеризующееся набором параметров, в определенный момент времени. В общем случае СК МАС с учетом модели ситуации и определенного набора задач образуют проблемно-ориентированные виртуальные пространства, включающие множество агентов, обладающих необходимыми компетенциями для решения этих задач, и множество информационных ресурсов и сервисов. Основными компонентами задачи формирования СК МАС являются множество ситуаций, множество коалиций агентов, множество ресурсов и их конфигурация в виртуальном пространстве, определяющая возможные направления использования СК МАС.

Формальная модель СК МАС в терминах концептуальной модели мультиагентной информационно-аналитической среды (КМ МИАС) региональной безопасности может быть представлена в виде:

$$CK\ MAC = \{A, R, VE, ORG, CS, CSC\}, \quad (3.34)$$

где  $A$  - множество агентов, из которых формируются коалиции  $COAL|_{CS} \subseteq A$  для решения задач, определенных в рамках модели текущей ситуации;  $R$  - множество ресурсов;  $VE$  - виртуальная среда, в которой находится СК МАС;  $ORG$  - множество базовых организационных структур, соответствующих конкретным функциям (ролям) агентов и отношениям между ними;  $CS$  - множество кризисных ситуаций;  $CSC$  - множество классов кризисных ситуаций, для которых предназначена СК МАС.

В результате, для адекватной информационной поддержки управления безопасностью региона предложено развитие метода мультиагентной виртуализации процессов принятия решений на всех уровнях управления безопасностью сложных

систем. Метод основан на расширении инструментария мультиагентного и онтологического моделирования средствами реализации имитационного аппарата агентов и семантической интеграции разнородных информационных ресурсов и сервисов. Суть метода заключается в адаптивном моделировании поведения каждого субъекта управления безопасностью как автономного проактивного агента с собственными интересами и целями посредством формирования коалиций между агентами, их самоорганизации и коллективной адаптации к динамике внешней среды. Метод предполагает формирование проблемно-ориентированных мультиагентных виртуальных пространств, представляющих собой СК МАС, для информационной поддержки задач управления региональной безопасностью в условиях разнородных кризисных ситуаций. Метод виртуализации ориентирован на открытые сети агентов.

Структурная схема, отражающая отличительные особенности предлагаемого подхода мультиагентной виртуализации сложных объектов и процессов управления от классической агентной технологии, показана на рисунке 3.7.

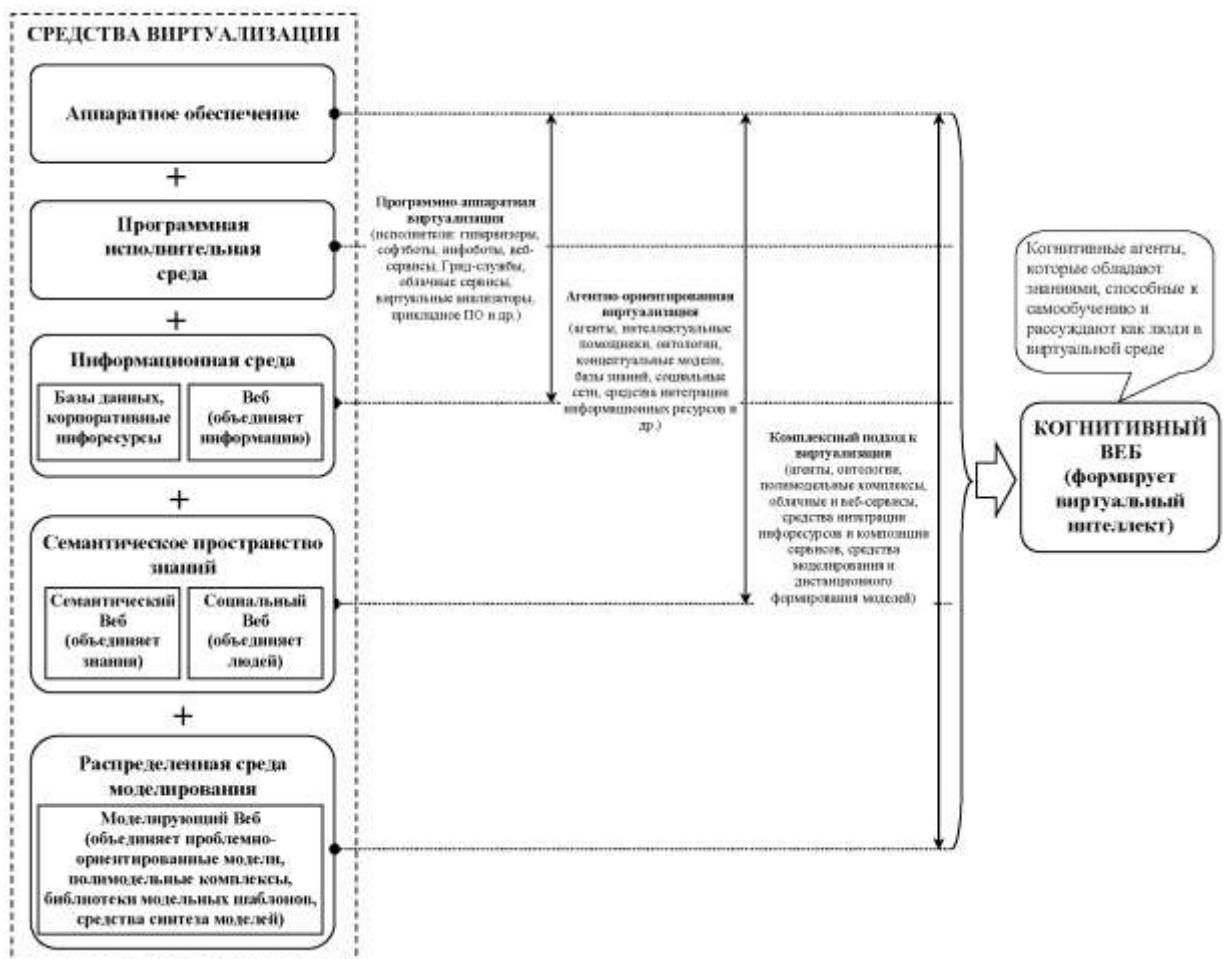


Рисунок 3.7 – Отличительные особенности метода мультиагентной виртуализации от классической агентной технологии

По сравнению с классической агентной технологией метод обеспечивает более высокую автономность и адаптивность агентов в процессе распределенного решения пользовательских задач, а также наделяет агентов более развитыми когнитивными свойствами за счет использования агентами полимодельных комплексов, что повышает оперативность и результативность работы агентов в мультиагентной виртуальной среде. Полимодельные комплексы позволяют осуществлять постановку, решение и получение результатов синтеза и реконфигурации ВОСБ на всех уровнях принятия решений и на различных классах моделей с помощью предложенного когнитивного подхода к решению задач информационной поддержки управления региональной безопасностью, основанного на совместном использовании методов концептуального, системно-динамического и мультиагентного моделирования.

Метод мультиагентной виртуализации процессов принятия решений в сфере управления региональной безопасностью состоит из последовательности шагов:

- 1) *Создание и конфигурация агентов.* Выполняется генерация и инициализация когнитивных агентов для разнотипных субъектов управления безопасностью в виртуальной среде региональной безопасности и их настройка на предметную область безопасности, для которой они предназначены.
- 2) *Агентный мониторинг и управление.* На основе межагентных коммуникаций созданные агенты реализуют процедуры получения и интерпретации данных и знаний о среде функционирования, поиск агентов совместной деятельности, предварительную обработку и анализ собранной в единой виртуальной среде информации с учетом пользовательских настроек: профиля, запросов, загруженных или подключенных источников первичной информации и т.д.
- 3) *Синтез мультиагентных моделей ВОСБ.* Осуществляется формирование коалиций агентов для задач управления, решаемых в разнородных кризисных ситуациях, и связанных с этими задачами наборов информационных ресурсов на основе совместного анализа семантических описаний задач управления, кризисных ситуаций, ресурсов, сервисов агентов и Веб, компетенций и профилей субъектов безопасности, планов действий, представленных в онтологии региональной безопасности.
- 4) *Формирование СК MAC.* Формирование на основе синтезированных допустимых альтернативных вариантов моделей ВОСБ проблемно-

ориентированных мультиагентных виртуальных пространств для различных классов кризисных ситуаций в каждой области региональной безопасности. Каждое виртуальное пространство представляет собой СК МАС. Каждая отдельная СК МАС обеспечивает решение комплекса задач информационной поддержки управления региональной безопасностью, связанных с получением, обработкой, анализом и интеграцией информации, необходимой на каждом уровне принятия решений в кризисных ситуациях определенного класса безопасности. Примерами таких СК МАС являются СК МАС поддержки принятия решений в условиях кризисных ситуаций в сфере управления экономической, экологической, социальной, кадровой и другими составляющими региональной безопасности.

- 5) *Реконфигурация СК МАС.* В случае изменения параметров функционирования информационной среды региональной безопасности: подключения к системе новых участников, вовлеченных в процессы принятия решений по управлению безопасностью, появления новых источников информации (идентификация новых кризисных ситуаций и угроз безопасности, пополнение используемых баз данных новыми сведениями и т.д.), интеграция компонентов сторонних информационных систем или веб-ресурсов осуществляется реконфигурация СК МАС. Это сопровождается перегруппированием агентов в коалиции и реконфигурированием ассоциированных с ними сетей информационных ресурсов и сервисов. При необходимости в интерактивном режиме работы с пользователем выполняется доопределение необходимых параметров локального контекста агентов. Под *контекстом* понимается модель, описывающая знания, релевантные задаче пользователя и используемые агентами в ходе решения данной задачи.
- 6) *Агентная оптимизация.* Осуществляется автоматизация процессов принятия решений и выполнение критических операций, предполагающих выбор акторов и исполнительных ресурсов, прогнозирование развития ситуаций, синтез сценариев ситуационного управления, формирование и согласование планов антикризисных мероприятий и оценка результативности их реализации.

Для динамического формирования виртуальных миров когнитивных агентов, представляющих собой проблемно-ориентированные СК МАС, необходимы

специальные модели самоорганизации агентов. В качестве такой модели в рамках метода предложена реализация модели самоорганизации МАС на основе использования градиентных (вычислительных) полей [203] для формирования коалиций агентов и ассоциированных с ними информационных ресурсов. В одноранговых распределенных МАС с данной моделью самоорганизации аналогом поля и его градиента является некоторая распределенная структура данных с уникальным идентификатором, представляющая собой вычислительное поле градиента. В среде функционирования агентов эта структура данных представляется в унифицированной форме, которая обеспечивает доступ к ней других агентов в каждой точке виртуальной среды. Вычислительное поле генерируется и поддерживается некоторым источником в виртуальной среде, в качестве которого могут рассматриваться специальная инфраструктура, либо место в сети (узлы сети с инсталлированной агентной платформой, на которой функционируют агенты), либо сами агенты-инициаторы или иные сущности системы. Поле несет контекстную (локальную или глобальную) информацию о среде и/или об инициаторе градиентного поля, необходимую для принятия решений, координации и самоорганизации.

Функция распространения поля возлагается на агентов системы. В этом случае агенты обеспечивают ретрансляцию поля соседям, модифицируя его силу. Этот процесс передачи поля от агента к агенту повторяется до тех пор, пока сила поля не станет меньше некоторого порога, когда она полагается равной нулю. Агенты могут инициировать не одно, а несколько различных вычислительных полей (в том числе и их комбинации) в зависимости от своей роли в системе и ресурсных возможностей.

При таком подходе самоорганизация агентов заключается в автоматическом формировании в рамках распределенной информационной среды проблемно-ориентированных мультиагентных виртуальных пространств [63, 78], объединяющих агентов с близкими целями и требуемым набором компетенций в коалиции. При этом для каждого отдельного виртуального пространства генерируются управляющие агенты-модераторы, реализующие процедуры распределения задач между агентами, координации процессов межкоалиционной миграции и реорганизации, выдачи удостоверяющих сертификатов и т.д.

Формальная модель вычислительного поля агента в виртуальной среде может быть представлена в виде:

$$ACF = \langle ID, LC, PR, t \rangle, \quad (3.35)$$

где  $ACF$  - вычислительное поле агента;  $ID$  - имя или уникальный идентификатор структуры данных, представляющей вычислительное поле;  $LC$  - контекстуальная информация об агенте-инициаторе поля (локальный контекст агента, включающий описание его компетенций, модели текущей ситуации и решаемых задач, места нахождения в сети, характеристики силы поля в соответствующей точке виртуальной среды и т.д.);  $PR$  - правило распространения поля по сети, определяющее, каким образом значения параметров поля изменяются в виртуальном пространстве от узла к узлу (начиная с соседних узлов);  $t$  - параметр времени, характеризующий время жизни агента, либо время актуализации его локального контекста.

Под *контекстом*, согласно [119], понимается модель, описывающая знания, релевантные задаче пользователя и совместно используемые компонентами информационной среды в ходе решения данной задачи. Другими словами, контекстом является любая информация, которая может быть использована, чтобы охарактеризовать ситуацию, в которой находится в данный момент некоторый объект, и информация, которая может быть получена от этого объекта. При этом в качестве объекта может выступать агент, пользователь, внешняя среда, физический объект или прикладная программа. Ситуация возникает при взаимодействии объектов. В результате, контекст формирует часть информационной среды, используемую объектами при их взаимодействии [47].

Агенты имеют доступ к полю, воспринимая значения его параметров и изменяя его с целью отражения локального контекста, представляющего местоположение и/или состояние агента. Агент, находящийся в определенной точке виртуального пространства, воспринимает части поля градиента от своих соседей и выбирает стратегию поведения (детерминированную или вероятностную), управляемую результирующим полем. Он взаимодействует с соседями в той или иной форме, например, двигается к ним, посыпает через них сообщения, запрашивает у них информацию и т.д. Источником координирующей информации при этом выборе остаются градиентное поле и те его локальные характеристики, которые воспринимаются каждым агентом.

Реализация рассмотренного подхода к самоорганизации агентов позволяет сформулировать правило, в соответствии с которым в рамках предложенного метода осуществляется формирование проблемно-ориентированных СК МАС: необходимым и достаточным условием формирования СК МАС в виртуальной среде является коллинеарность и сонаправленность градиентов вычислительных полей рассматриваемого множества агентов и некоторого источника-инициатора, то есть:

$$\nabla ACF|_{a_k} \uparrow\uparrow \nabla ACF|_{a_i}, \quad (3.36)$$

где  $\nabla ACF|_{a_k}$  - градиент вычислительного поля агента  $a_k \in A$ , инициировавшего поле;  $\nabla ACF|_{a_i}$  - градиент вычислительного поля других агентов виртуальной среды  $a_i \in A, i = \overline{1..N}$ . При этом агент-инициатор  $a_k \in A$  «притягивает» к себе агентов  $a_i \in A, i = \overline{1..N}$  и является управляющим агентом-модератором в рамках формируемого вокруг него проблемно-ориентированного виртуального пространства (рисунок 3.8).

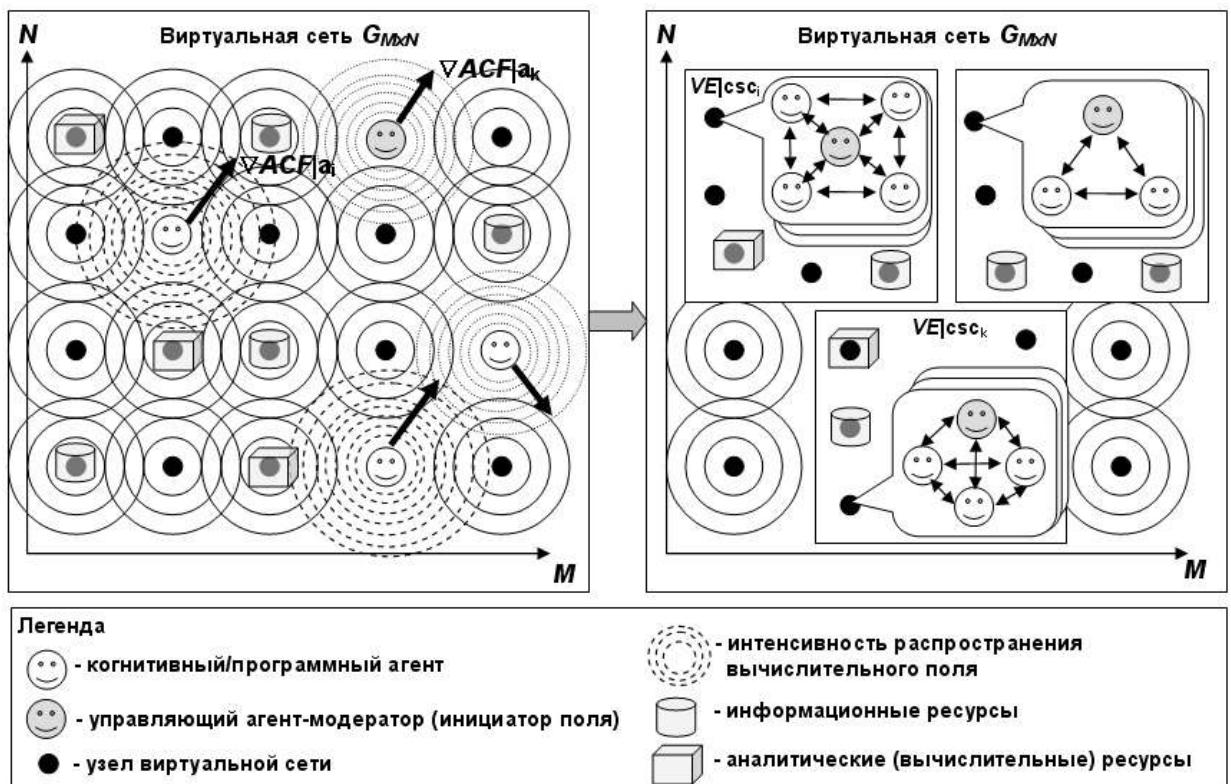


Рисунок 3.8 - Схематическое представление реализации механизма самоорганизации МАС на основе модели градиентных (вычислительных) полей

Обозначения на рисунке 3.8:  $\nabla ACF|_a$  - градиент вычислительного поля агента;  $VE|_{CSC}$  - мультиагентное виртуальное пространство для поддержки управления кризисными ситуациями в каждой области региональной безопасности.

Координация «движения» агентов в виртуальном пространстве (динамика MAC) выполняется формой поля и его изменением от узла к узлу, от агента к агенту. Информация о направлении «движения» агентов получается путем оценки изменения вычислительного поля и представленного в нем локального контекста агентов по различным направлениям.

Отличительными особенностями разработанного метода мультиагентной виртуализации являются:

- моделирование поведения каждого субъекта управления как автономной пр-активной сущности с собственными интересами и целями;
- реализация и использование когнитивных агентов с имитационным аппаратом, имеющих гибридную архитектуру;
- реализация принципов сетецентрического управления;
- реализация модифицированной модели самоорганизации агентов на основе градиентных вычислительных полей;
- высокая адаптация агентов к динамике внешней среды за счет комбинированного использования методов коллективного обучения с подкреплением (Q-Learning) [166] и системно-динамических моделей, заложенных в имитационный аппарат агентов [60].

Метод реализован в рамках технологии динамического формирования и конфигурирования проблемно-ориентированных мультиагентных виртуальных пространств [63]. Особенности реализации этой технологии будут рассмотрены в четвертой главе диссертации.

Практическая реализация предложенного метода обеспечивает достижение следующих системных эффектов: иномобильность, способность к самоорганизации, самоконтекстуализация, координируемость, самоидентификация, адаптивность.

Ограничениями приложения метода виртуализации могут быть причины, связанные с возникновением непштатных ситуаций внутри самой MAC. Примерами таких ситуаций являются: получение от внешней среды непонятной информации, трудновоспринимаемой агентами системы и которая не побуждает агентов на какие-

либо действия; инициируемое агентами вычислительное поле не воспринимается другими агентами и его действие бесполезно, что замедляет процесс самоорганизации агентов в проблемно-ориентированные виртуальные пространства и препятствует координации их поведения.

### **3.3.2. Архитектура и способы реализации когнитивных агентов с имитационным аппаратом**

Важным свойством исполнительной среды, реализованной на основе агентов, является ее автономность. Это означает, что после настройки и запуска сеанса моделирования, как отдельные модели, так и весь их комплекс, должны быть способны функционировать без прямого вмешательства человека.

Как уже отмечалось выше, многие объекты региональной системы имеют собственные цели и функции. Следовательно, модели, представляющие эти объекты, должны обладать целенаправленным поведением, стремиться привести, или хотя бы приблизить моделируемые характеристики объекта к целевым значениям. При этом они должны воспринимать воздействия окружающей среды и реагировать на них, как путем изменения своего внутреннего поведения, так и ответным воздействием на окружающую среду с целью ее изменения в собственных интересах. Таким образом, модели таких объектов должны обладать реактивностью и про-активностью.

Агенты, представляющие социальные сущности реального мира (население или его отдельные группы, хозяйствующие субъекты и т.п.), в общем должны обладать интеллектуальностью (когнитивностью). Это значит, что они должны «обладать» знаниями о себе и окружающем мире, и быть способными определять и корректировать свое поведение в соответствии с этими знаниями [120]. Основным инструментом, используемым интеллектуальными (когнитивными) агентами при принятии решения, являются методы искусственного интеллекта. Алгоритм принятия решения обычно не существует в явном виде, а формируется из правил, закономерностей и т.д. в процессе решения задачи. Неинтеллектуальные агенты работают по процедурной схеме, а алгоритм поведения и выбора альтернатив обычно зафиксирован в программном коде или записан на некотором интерпретируемом языке сценариев (скрипт-языке).

Синтезируемое на основе агентных технологий мультиагентное виртуальное пространство региона представляет собой модель реального мира, обеспечивающую эффект присутствия пользователя. Модель предоставляет прямой доступ к объектам виртуального пространства для имитации поведения реальных объектов в исследуемой системе при различных управляющих воздействиях. Особенностью мультиагентных виртуальных пространств является ориентация на использование онтологических моделей представления знаний. Онтология задает интеллектуальность когнитивного агента - чем точнее составлена онтология, тем более корректно обозначены связи, тем адекватнее агент представляет предметную область, для которой он предназначен.

Когнитивные агенты, обладая развитым внутренним представлением сцены и возможностями рассуждений, должны быть способными запоминать и анализировать различные ситуации, предвидеть возможные реакции на свои действия, делать из этого выводы, полезные для дальнейших действий, и в результате - прогнозировать результативность своего поведения и изменения сцены. Для этого агенты должны быть снабжены имитационным аппаратом [60]. Проведенный в работе [60] анализ используемых в современной практике проектирования МАС архитектурных решений интеллектуальных агентов показал, что ни одна из известных гибридных архитектур агентов не обладает достаточной функциональностью для реализации указанных способностей. Некоторые попытки теоретического осмыслиения подобного подхода представлены в работе [44], но не имеют конкретной практической реализации. На рисунке 3.9 схематически показана структура интеллектуального (когнитивного) агента.

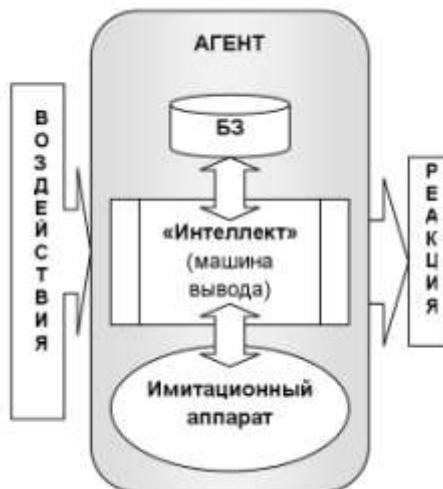


Рисунок 3.9 - Структура интеллектуального (когнитивного) агента

Среди известных подходов к построению мультиагентных систем управления и поддержки принятия решений выделяются два основных подхода и, соответственно, два класса систем [150]:

- 1) распределенные МАС с «высокоинтеллектуальными» агентами;
- 2) МАС, основанные на «групповом разуме» (Swarm Intelligence).

Первый класс рассчитан на распределенные системы, в которых существует сравнительно небольшое количество агентов (единицы) и каждый из агентов является сложным программным объектом со сложными алгоритмами. Второй класс систем рассчитан на большое количество агентов (десятки, сотни, тысячи). Каждый агент в системе не является сложным программным объектом и реализует простые алгоритмы поведения. В результате взаимодействия агентов возможно решение сложных задач, которые каждый агент по отдельности решить не в состоянии.

В диссертационном исследовании рассматривается второй класс систем. В результате реализации функционально-целевого подхода к моделированию сложных распределенных систем [48], описанного во второй главе диссертации, получается два дерева: дерево объектов и дерево целей. Дерево целей используется для синтеза мультиагентной модели. Декомпозиция выполняется до тех пор, пока не достигнет уровня «примитивных» целей, реализуемых агентами с простыми алгоритмами. Достижение примитивных целей обеспечивает достижение глобальной цели исследуемой системы. На базе концептуальной модели, разработанной с помощью функционально-целевого подхода, синтезируется модель системной динамики на основе применения метода концептуального синтеза динамических моделей сложных систем [116]. Полученные модели взаимодействуют следующим образом. Системно-динамическая модель дает прогноз тенденций развития системы, в зависимости от которого «включаются» те или иные алгоритмы агентов в рамках мультиагентной модели (рисунок 3.10).

Предположим, исследования системно-динамической модели сложного объекта управления показывают, что объект входит в окрестности бифуркации (красный свет на рисунке 3.10). При этом агенты перестают «замечать» друг друга (блокируются алгоритмы переговоров между агентами) и «видят» только свои цели. В результате все действия агентов обусловлены только соответствующими целями, что обеспечивает безусловное достижение глобальной цели системы (в соответствии с

функционально-целевым подходом). Понятно, что в данном случае управление будет менее эффективным с точки зрения рационального использования ресурсов, но в окрестностях бифуркации это вполне целесообразно, так как резко повышается вероятность «потери» глобальной цели.

В случае стабильного периода развития объекта управления (тенденции развития дают исследования системно-динамической модели) включается «зеленый свет» (рисунок 3.10). При этом агенты «помнят» о своих целях, но возможны компромиссы в пользу горизонтальных связей (актуализируются алгоритмы переговоров). Управление в этом случае становится более эффективным с точки зрения использования ресурсов.

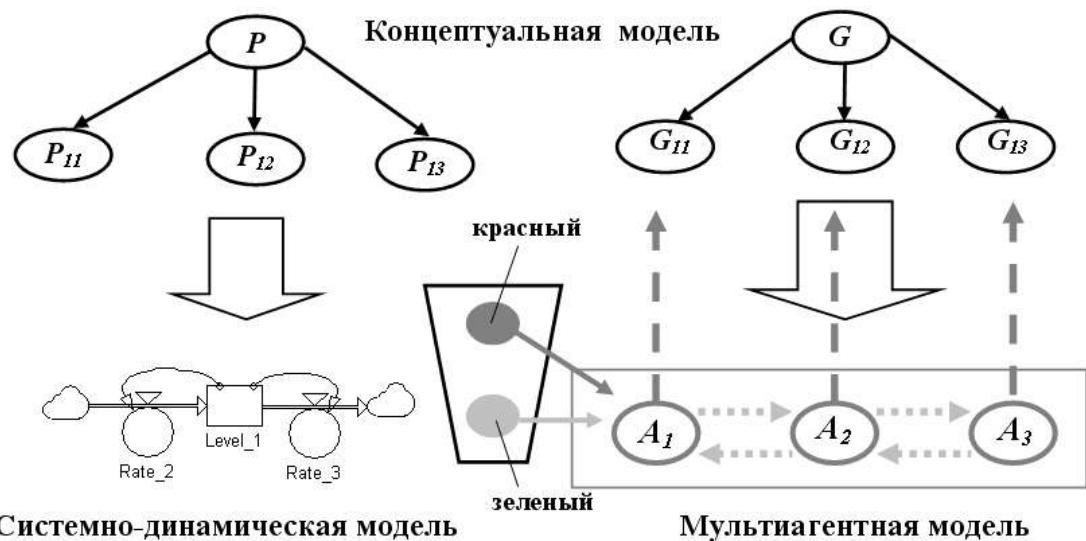


Рисунок 3.10 - Синтез и взаимодействие концептуальной, системно-динамической и мультиагентной моделей

Обозначения, используемые на рисунке 3.10:  $G$  – множество целей, представленных в модели;  $P$  – множество параметров, описывающих множество задач, решение которых необходимо для достижения поставленной цели;  $A$  – множество агентов системы.

Таким образом, для целей моделирования и управления сложной системой (в нашем случае - РСЭС) имеем ансамбль моделей, представляющий собой полимодельный комплекс, состоящий из моделей трех типов: концептуальных, системно-динамических и мультиагентных. Концептуальная модель предметной области используется для интеграции системно-динамических и мультиагентных моделей и обеспечения их адекватности целям управления. В этом и заключается

основная идея предложенного в работе когнитивного подхода к решению комплекса задач информационной поддержки управления региональной безопасностью.

Интеграция указанных типов моделей в единый полимодельный комплекс и комбинированное использование соответствующих методов моделирования в рамках предложенного подхода обеспечили базис для нового решения в области создания и использования мультиагентных систем поддержки принятия решений – когнитивных агентов с имитационным аппаратом [60], имеющих гибридную архитектуру. Архитектуру такого когнитивного агента иллюстрирует рисунок 3.11. Наличие имитационного аппарата в составе архитектуры когнитивных агентов обеспечивает им способность формирования модели внешнего мира, моделей собственного поведения и других агентов, и на основе результатов моделирования строить стратегию своего поведения в виртуальной среде.

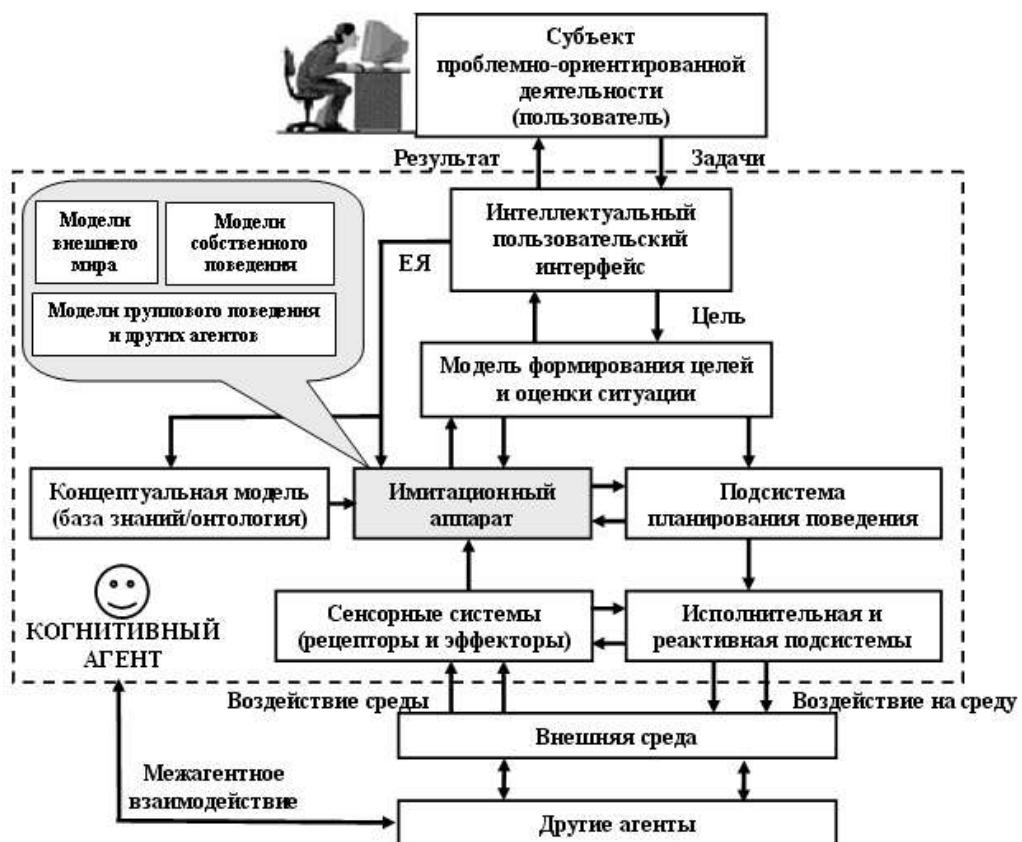


Рисунок 3.11 - Гибридная архитектура интеллектуального (когнитивного) агента с имитационным аппаратом

В состав когнитивного агента входят: подсистема взаимодействия; база знаний и подсистема моделирования – имитационный аппарат (рисунок 3.9). База знаний агента реализована в виде онтологии предметной области, для которой предназначен

агент. Подсистема взаимодействия реализована с помощью языков KIF (Knowledge Interchange Format) и ACL (Agent Communication Language) [150]. Имитационный аппарат представляет собой полную или упрощенную модель среды, в которой функционирует агент, рекуррентно вызываемую в процессе моделирования, и обеспечивает локальный прогноз результатов его потенциальной активности. В качестве средства реализации имитационного аппарата в диссертации предложено использовать системно-динамические модели. Данная подсистема моделирует поведение объектов внешней среды и самого агента, что используется для объяснения текущего поведения и предсказания возможного поведения в будущем.

Реализация имитационного аппарата внутри когнитивных агентов расширяет их когнитивные (познавательные), прогностические и аналитические функции. Это ускоряет процессы обучения агентов, обеспечивает возможность имитационного моделирования развития региональных кризисных ситуаций и оценку показателей безопасности региональных социально-экономических систем в мультиагентной виртуальной среде с учетом возможных изменений среды и действий других агентов.

Развернутое представление архитектуры агента с имитационным аппаратом приведено на рисунке 3.12.

Предлагаются два основных подхода к реализации имитационного аппарата когнитивных агентов на основе системно-динамических моделей в мультиагентной виртуальной среде. Первый подход предполагает, что для прогнозирования развития сцены осуществляется копирование модели сцены в имитационный аппарат агента. Второй подход основан на порождении «параллельных» виртуальных миров агентами и предполагает создание упрощенных моделей других агентов. При этом другие агенты являются исполнителями заданий агента – владельца виртуального мира. Это обеспечивается путем «прогонки» анализируемого варианта действий агента на структурно идентичной вспомогательной имитационной модели. В данном случае агент берет на себя функции моделирования всей внешней среды. Такое решение существенно повышает автономность агента, расширяет его адаптационные и функциональные возможности.

Схема работы агента без учета имитационных возможностей принципиально не отличается от функционирования классических агентных моделей: на каждом шаге моделирования каждый агент выбирает один из множества альтернативных вариантов

собственных действий, исходя из сформулированного для него критерия эффективности [171]. После реализации всеми агентами модели выбранных альтернатив происходит переход к следующему модельному шагу.

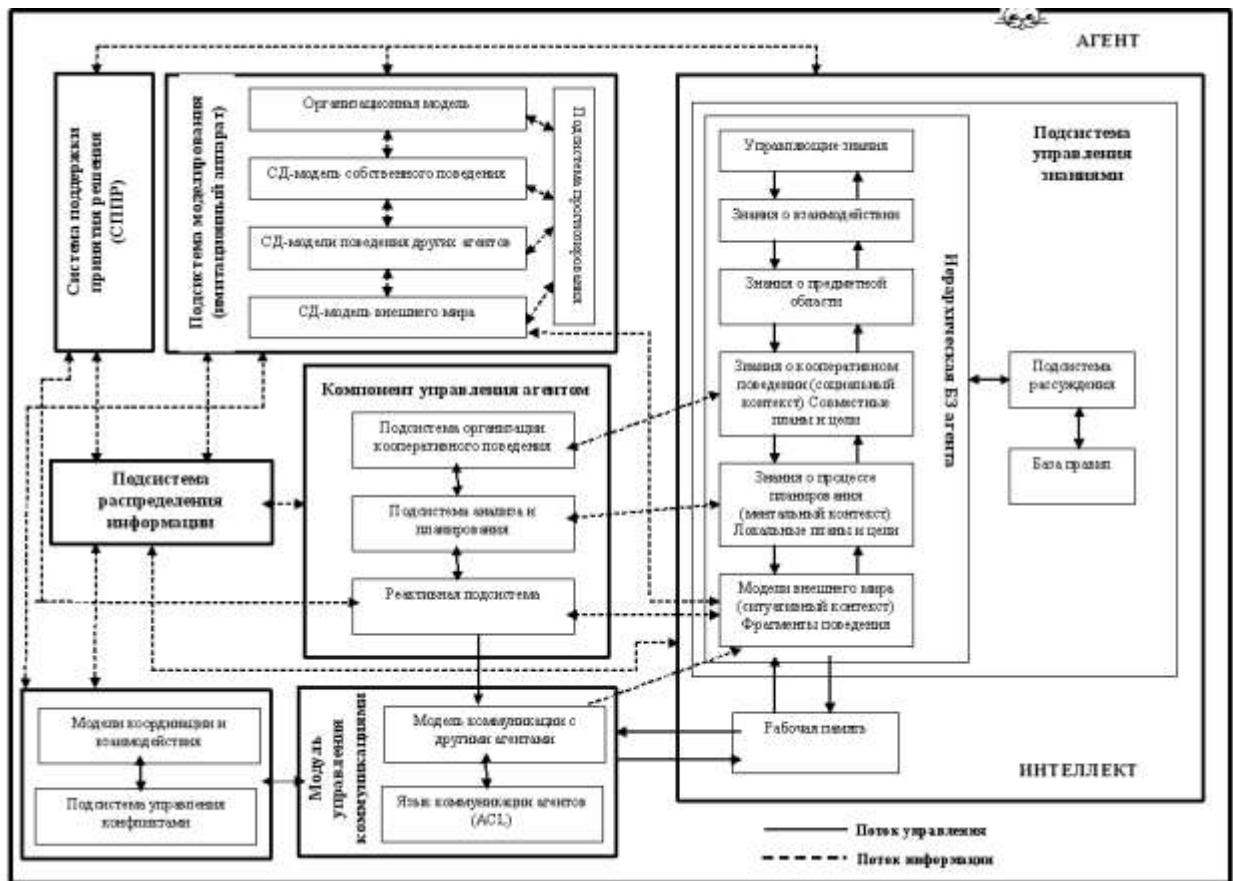


Рисунок 3.12 - Развёрнутое представление архитектуры интеллектуального (когнитивного) агента с имитационным аппаратом

Отличие предложенного в работе способа построения модели функциональной организации когнитивных агентов от известных заключается в механизме оценки альтернатив дальнейшего поведения. В существующих моделях выбор определяется параметрами анализируемой альтернативы и текущими и/или предшествующими значениями параметров среды функционирования агента. Агенты с имитационным аппаратом при выборе варианта собственных действий на некотором шаге учитывают не только текущее и предшествующие состояния среды, но и предполагаемые будущие значения ее параметров, а также влияние на эти значения деятельности других агентов. Используя имитационный аппарат, агенты становятся способными самостоятельно пополнять знания о внешней среде и корректировать стратегию своего поведения с учетом динамически меняющихся условий и влияния других

агентов, активизируя те или иные алгоритмы управления в зависимости от текущей ситуации в ходе межагентных коммуникаций.

Далее будут рассмотрены способы реализации имитационного аппарата когнитивных агентов на основе системно-динамических моделей.

Первый подход предполагает, что для прогнозирования развития сцены осуществляется копирование модели сцены в имитационный аппарат агента. Прогностивный агент в данном случае формирует собственный внутренний виртуальный мир, приняв за основу текущее состояние и структуру внешнего виртуального мира (комплексной модели, включающей модель среды и модели действующих в ней прогностивных сущностей). Выработка стратегии поведения рассматриваемого агента осуществляется путем «внутренней» симуляции различных сценариев собственного развития и развития сцены в результате выбора агентом на каждом шаге тех или иных действий для достижения собственных целей. В данном случае агент берет на себя функции моделирования всего окружающего мира. Такое решение существенно повышает автономность агента, но порождает ряд проблем. Во-первых, полное дублирование модели окружающего мира, или даже его упрощенной копии, потребует выделения для агента дополнительных ресурсов. Во-вторых, нет однозначного решения для учета работы других прогностивных агентов, функционирующих параллельно в той же среде.

Второй подход, основанный на порождении «параллельных» виртуальных миров агентами, предполагает создание упрощенных моделей других агентов. Такое решение приемлемо, если в рамках решаемой задачи допускается рассмотрение других агентов как исполнителей заданий агента – владельца виртуального мира. Система получается относительно простой с динамической точки зрения, так как в качестве общих приоритетов выступают цели агента-владельца. При этом система обладает достаточно высокой «прогностической» ценностью для агента-владельца виртуального мира – позволяет прогнозировать его эффективное развитие на много шагов вперед. Однако, подобные допущения ограничивают спектр задач, для которых модель может считаться адекватной, ситуациями, в которых субъекты жертвуют (по тем или иным причинам) своими интересами в интересах других субъектов.

При моделировании реальных сценариев развития региональных систем прогностивные агенты должны работать как коллектив (или как конкуренты),

взаимодействуя на сцене. Сохранить функциональность и целеустремленное поведение всех про-активных сущностей в процессе имитационного анализа вариантов развития позволяет подход, предполагающий порождение «параллельных» виртуальных миров агентами (рисунок 3.13).

Для анализа возможностей и вариантов своего поведения в рамках распределенной виртуальной среды некоторый агент  $A_i$  инициирует запуск «параллельного» мира. При этом параллельный мир формируется как копия основного виртуального мира на момент порождения  $T_i$ , дублируя его структуру и состояние  $S(T_i)$ . Параметр  $\tau_i$  определяет, на какое время порождается этот мир. Данный параметр зависит от прогностических задач агента  $A_i$  и может быть назван «глубиной прогнозирования». После инициализации параллельного мира агент  $A_i$  «проживает» в нем несколько раз отрезок времени  $\tau_i$ , варьируя варианты своего поведения с целью поиска следующего наиболее выгодного для него поведенческого шага в основном виртуальном мире. Найдя этот шаг, он его реализует, изменяя состояние основного виртуального мира.

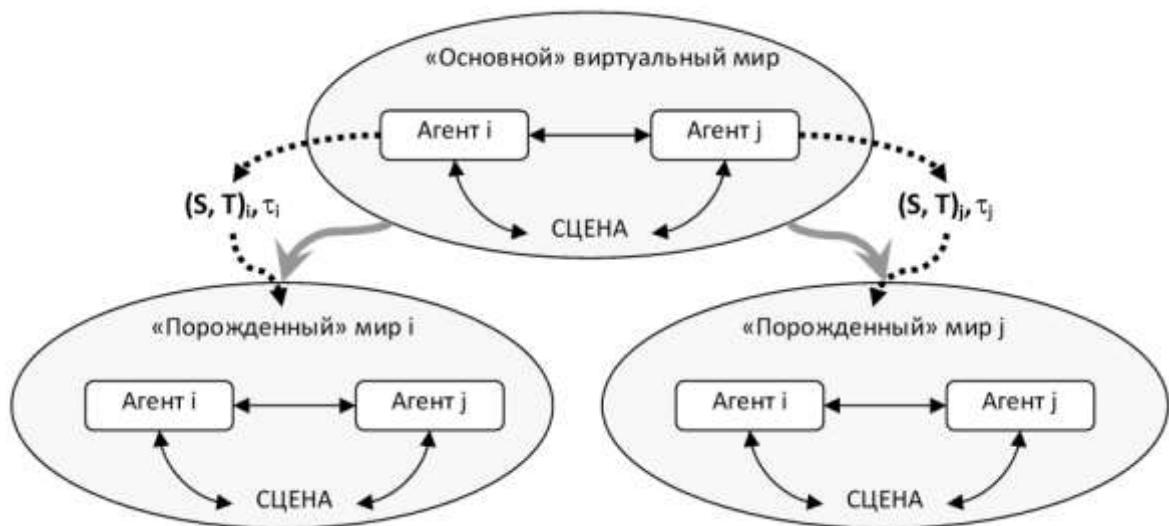


Рисунок 3.13 - Схема организации работы мультиагентной среды с «порождением» виртуальных миров про-активными сущностями

Остальные про-активные сущности действуют аналогичным образом, порождая собственные виртуальные миры, анализируя в них варианты собственного развития и окружающей среды. В каждом порожденном виртуальном мире сохраняется полная функциональность и целенаправленное поведение каждого про-активного агента.

Наиболее сложной проблемой является организация взаимодействия агентов и согласования планов действий – оценки выигрыша и потерь в случае конфликта, компромисса, вступления в коалицию. В рамках этой проблемы необходимо решить задачу синхронизации основного виртуального мира и порожденных миров каждого про-активного агента, участвующего в коллективном, или конкурентном процессе. При использовании в качестве имитирующей среды системно-динамические модели задача сводится к согласованию шагов имитации (единиц дискретного времени системно-динамических моделей) как для среды, так и для про-активных сущностей. При инициализации порожденного мира основной мир либо полностью должен оставаться в фиксированном состоянии, либо, при определенных условиях, изменяться в нем может только среда по своим внутренним закономерностям при фиксированных воздействиях про-активных сущностей.

Выполнение очередных шагов про-активными агентами в основном виртуальном мире, в ходе которых может измениться внутреннее состояние агентов и осуществляется элементарный акт взаимодействия с окружающей средой и другими про-активными сущностями, происходит по определенному синхронизационному плану. Синхронизационный план, по сути, представляет собой временную схему, определяющую моменты срабатывания каждого агента. Естественным требованием является кратность внутренних шагов имитации про-активных сущностей и среды.

При моделировании задач, требующих взаимодействия агентов, необходимо формировать логически связанные структуры, отражающие динамику исследуемой подсистемы. Данные структуры должны обеспечивать такие системные свойства, как:

- в возникающих структурах агенты организуются в целое, свойства которого не являются простой суммой свойств составляющих;
- логически связанные (интегрированные), относительно простые правила поведения и взаимодействия отдельных агентов могут генерировать новое явление;
- устойчивые структуры могут стать компонентами более сложных возникающих структур, а также приводят к иерархии динамических структур и их масштабируемости.

Формирование структур, обладающих указанными свойствами, возможно на основе концептуального описания с помощью соответствующих средств работы с

концептуальной моделью. В первую очередь, это средства выделения фрагмента концептуальной модели, «покрывающего» определенную задачу, в интересах решения которой организуется сеанс моделирования [83]. На основе выделенного фрагмента производится анализ декларативной разрешимости задачи, определяющей принципиальную возможность получения искомого решения на основе заданного условия. После этого формируется спецификация информационно-вычислительной исполнительной среды, обеспечивающей возможность реализации сеанса моделирования с учетом наличия и распределенности исполнительных агентов.

Третий подход предполагает, что в ходе моделирования используются два вида агентных моделей, идентичных по структуре, но отличающихся внутренней организацией агентов. Первый вид - базовая агентная модель, характеризуется тем, что при принятии решения о действиях, реализуемых на очередном шаге моделирования, агент оперирует лишь текущими и предшествующими параметрами состояния среды функционирования и никак не учитывает влияние на значение критерия выбора последующей активности агентов-конкурентов или агентов-союзников. Второй вид моделей - модели с внутренней имитацией, при той же структуре среды функционирования использует агентов с архитектурой, приведенной на рисунке 3.11. При определении значения критерия выбора альтернативного действия на некотором шаге агент запускает базовую агентную модель, предварительно проинициализировав ее текущими параметрами состояния среды, и моделирует с заданным горизонтом последствия собственных действий. Возможна также и организация большей глубины рекурсивного использования моделей. В этом случае агент основной модели использует для определения критерия выбора вспомогательную модель с внутренней имитацией, агенты которой, в свою очередь, также могут использовать вспомогательные модели с внутренней имитацией, и так далее – до нижнего уровня, на котором для прогнозирования результатов собственной активности агентами используются базовые модели. Вместе с тем, следует также отметить, что важным вопросом, требующим дополнительной детальной проработки в рамках реализации данного подхода, является влияние на качество моделирования глубины рекурсивного вызова моделей.

Одним из путей формирования мультиагентной среды с использованием системно-динамических моделей является организация распределенной работы

комплекса системно-динамических моделей в рамках архитектуры HLA (High Level Architecture) [105]. При этом каждая отдельная системно-динамическая модель, представляющая конкретный объект или подсистему, является самостоятельным моделирующим агентом. В терминологии HLA такой агент называется Федератом. Состав федерации (совокупности взаимодействующих федераторов) для решения сложной задачи определяется описывающим эту задачу фрагментом концептуальной модели предметной области. Важная проблема синхронизации моделирующих процессов осуществляется специализированным контроллером моделирования в выделенных точках. Перед началом моделирования агенты подключаются к контроллеру моделирования при помощи механизма сокетов. Для каждого агента на основе заданных в концептуальной модели атрибутов и отношений определяется: уникальное имя, списки импортируемых и экспортимых атрибутов (данных); собственный шаг моделирования. В процессе моделирования контроллер осуществляет согласование шагов моделирования и передачу измененных данных между агентами согласно подписке. Схема взаимодействия распределенного комплекса системно-динамических моделей в архитектуре HLA показана на рисунке 3.14.

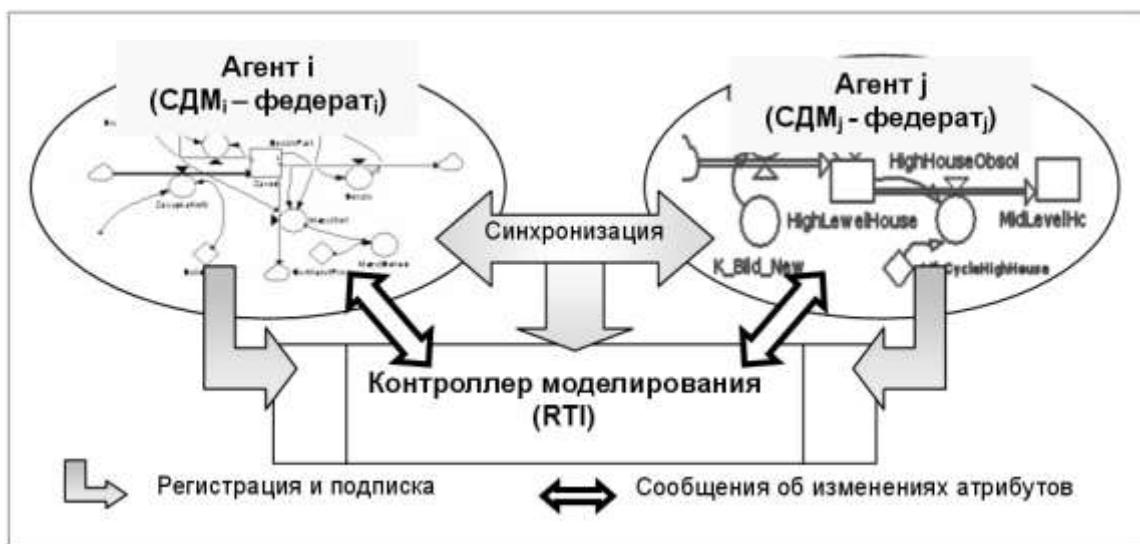


Рисунок 3.14 - Схема взаимодействия распределенного комплекса системно-динамических моделей в рамках архитектуры HLA

Протокол взаимодействия компонентов распределенной системы представляет собой набор команд интерфейса (API) среды системно-динамического моделирования и их параметров.

Таким образом, используемые в работе когнитивные агенты обладают развитой и пополняемой символьной моделью внешнего мира, что достигается благодаря наличию у них базы знаний (онтологии), имитационного аппарата, алгоритмов обучения (Q-Learning), механизмов решения и анализа действий. На основе символьной модели внешней среды когнитивный агент способен проводить собственные рассуждения, например, используя метод сравнения по образцу, и на их основе принимать самостоятельные решения или выполнять действия, изменяющие среду. Внутренняя модель мира когнитивных агентов включает модели участников, процесса и желаемого результата взаимодействия, а также знания о структуре и состоянии ресурсов, определяющих различные формы поведения. Когнитивные агенты реализуют следующие функции: когнитивную (познавательную), рассуждающую, регулятивную, коммуникативную и ресурсную. Когнитивные и делиберативные способности позволяют таким агентам строить виртуальные пространства, функционируя в которых они формируют планы совместных действий.

### **3.3.4. Технология формирования спецификаций мультиагентной среды имитационного моделирования задач управления безопасностью региона**

В ходе исследований разработана технология формирования спецификаций мультиагентной среды комбинированного экспертно-имитационного моделирования задач управления региональной безопасностью [25]. Технология реализует процедуры автоматизированного синтеза мультиагентных моделей сложных динамических систем. Это позволяет расширить спектр сценариев моделирования региональных кризисных ситуаций, что повышает информационную обеспеченность и обоснованность принятия управленических решений. Кроме того, обеспечивается возможность оперативной настройки среды моделирования на особенности той или иной задачи управления и высокая вариабельность реализации вычислительных экспериментов. Технология включает четыре основных этапа (рисунок 3.15).

Обозначения на рисунке 3.15: ИКМ – интегрированная концептуальная модель; КМПО – концептуальная модель предметной области; КМИС – концептуальная модель исполнительной среды;  $A$  – множество агентов (коалиций агентов) системы;  $F^b$  – множество общесистемных (базовых) функций агентов;  $F^s$  – множество

специфичных для предметной области функций агентов (с точки зрения настройки агента на решение задач из конкретной предметной области); 1-4 – основные этапы технологии.

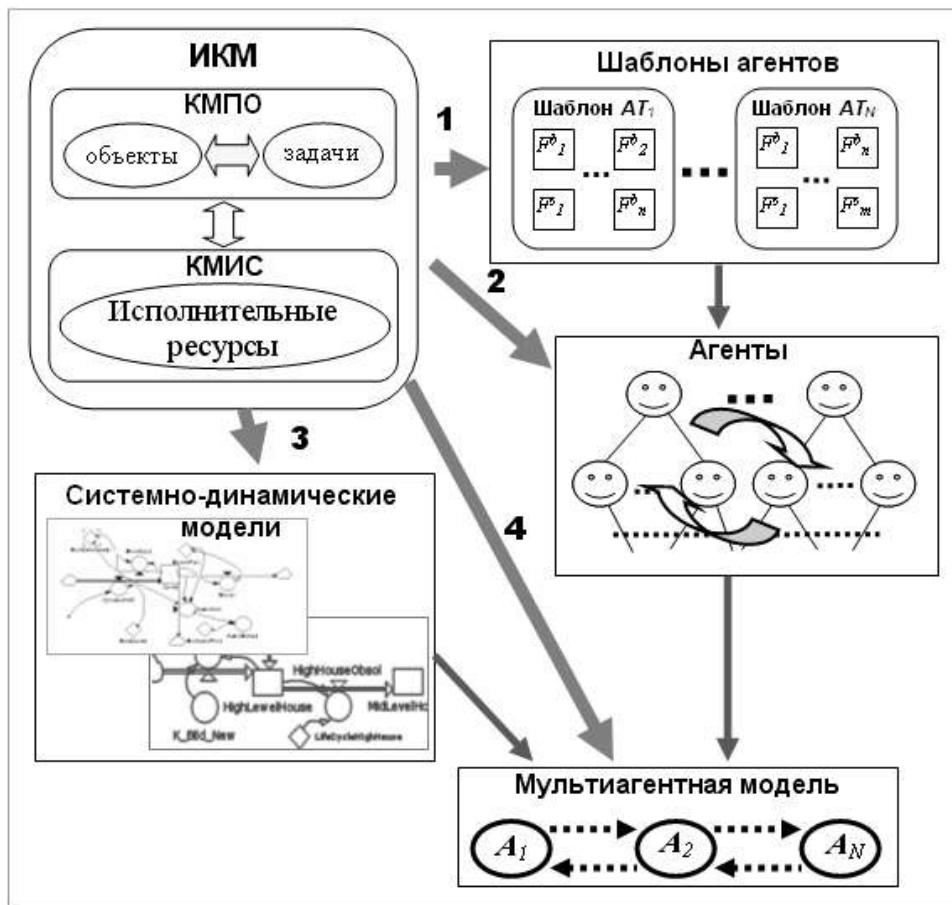


Рисунок 3.15 - Общая схема формирования спецификаций мультиагентной среды моделирования задач управления

На первом этапе на основе анализа представленных в концептуальной модели предметной области субъектов и ассоциированных с ними задач проводится определение базового множества классов агентов, которые будут функционировать в синтезируемой системе. К одному классу будет относиться множество агентов, играющих однотипные роли. Например, при моделировании процессов принятия решений в чрезвычайных и кризисных ситуациях определялись такие классы, как координатор, исполнитель, эксперт в области безопасности. С каждым классом связывается набор общесистемных  $F^b$  и специфических  $F^s$  (определеняемых однотипными задачами класса) функций агента.

На втором этапе с использованием процедур анализа интегрированной концептуальной модели и выбора проблемно-ориентированных фрагментов

концептуального описания формируется множество экземпляров агентов каждого класса, а также их коалиции. Возможны ситуации, когда субъект, представленный в концептуальной модели предметной области, играет в системе несколько различных ролей. В этом случае для него формируется несколько агентов различных классов. В конкретном сеансе имитационного моделирования может быть задействован как один ассоциированный с субъектом агент, так и несколько. При дальнейшей работе с интегрированной концептуальной моделью созданные агенты интерпретируются как алгоритмические исполнители нетерминального уровня. База знаний агента формируется на основе соответствующих фрагментов концептуальной модели.

Третий этап технологии заключается в создании компонентов, обеспечивающих реализацию имитационного моделирования – комплекса системно-динамических моделей, отвечающих как за имитацию динамики среды, так и за «поведение» агентов. Структура каждой имитационной модели синтезируется на основе совместного анализа интегрированной концептуальной модели и синтезированной на предыдущем этапе структуры агентов. Процедуры формального контроля обеспечивают проверку декларативной целостности мультимодельной среды имитации и «покрытия» ею представленных в концептуальной модели задач предметной области.

Четвертый этап заключается в интеграции синтезированных компонент в единую мультиагентную среду моделирования и окончательной настройке этой среды.

### **3.4. Средства поддержки функционирования мультиагентной виртуальной среды региональной безопасности**

#### **3.4.1. Распределенная агентная платформа для интеграции компонентов информационной среды региональной безопасности**

В ходе исследований разработана архитектура и основные функциональные компоненты ядра сервис-ориентированной распределенной агентной платформы [83], позволяющего интегрировать различные методы и средства моделирования на этапе создания полимодельных комплексов поддержки управления региональной безопасностью.

Основными задачами распределенной агентной платформы являются:

- 1) обеспечение информационного взаимодействия субъектов управления безопасностью в виртуальной распределенной среде региональной безопасности на базе автономных программных агентов и реализация процедур формирования виртуальных организационных структур управления безопасностью для разнотипных кризисных ситуаций с учетом доступных ресурсов и сервисов агентов;
- 2) обеспечение технологической основы для поддержания корректного и согласованного функционирования когнитивных агентов субъектов безопасности в единой информационной среде региональной безопасности;
- 3) автоматизированный синтез проблемно-ориентированных имитационных моделей из шаблонов на основе разработанной информационной технологии дистанционного формирования моделей и управления процессом имитационного моделирования [62, 71] с целью их последующего использования в имитационном аппарате агентов для реализации их прогностических и когнитивных функций;
- 4) создание и поддержание корректной работы полимодельных комплексов, предназначенных для моделирования задач управления региональной безопасностью, а также их использование в процедурах согласования индивидуальных и групповых целей агентов на этапе формирования коалиций.

Общий вид архитектуры сервис-ориентированной распределенной агентной платформы приведен на рисунке 3.16. Распределенная агентная платформа состоит из автономных программных агентов, моделирующих проведение разнотипных субъектов управления безопасностью. Агенты технически реализованы в виде отдельных приложений, взаимодействующих между собой. Эти приложения представляют собой локальные программы (.exe) и веб-сервисы. Программный агент обладает модульной структурой, в состав которой входят следующие модули: интерфейс пользователя, блок генерации модели, блок согласования модели, блок обработки результатов, блок взаимодействия с моделирующей средой, блок оперирования данными, база данных агента, моделирующая среда и другие.

Компонентный состав архитектуры сервис-ориентированной распределенной агентной платформы информационной инфраструктуры региональной безопасности также образуют подсистемы, реализующие процедуры формирования коалиций агентов и механизмы управления совместной деятельностью, технологии обеспечения информационной безопасности агентов и данных, которыми они оперируют,

алгоритмы миграции агентов, механизмы интеграции разнородных информационных ресурсов. Для согласования разных технологий хранения и представления данных в единой информационной среде поддержки управления безопасностью используются программные адаптеры ресурсов, реализующие специфичные для каждого конкретного ресурса механизмы доступа и извлечения данных [34].

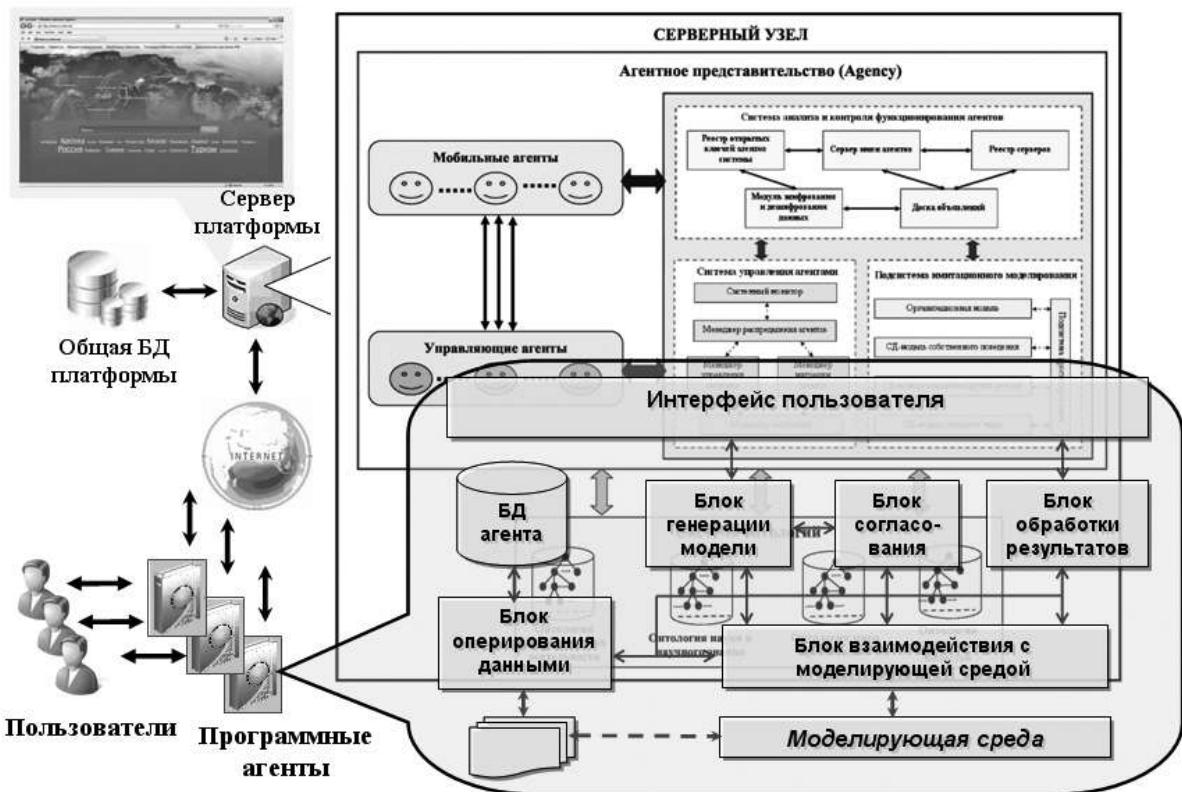


Рисунок 3.16 - Архитектура проблемно-ориентированной распределенной агентной платформы поддержки управления региональной безопасностью

Для динамического распределения агентов на узлах распределенной агентной платформы системы разработаны следующие программные компоненты:

- менеджер сообщений (*Message Manager*), координирующий процесс обмена сообщениями между агентами системы;
- системный монитор (*System Monitor*), периодически проверяющий нагрузку на текущем узле системы;
- менеджер распределения агентов (*Agent Allocation Manager*), предназначенный для исполнения алгоритмов динамического распределения агентов, а также анализа поведения и характера взаимодействия агентов системы;

- менеджер миграции агентов (*Agent Migration Manager*), перемещающий агентов между узлами сети и управляющий миграцией агентов в рамках платформы.

Вместе с тем, для дистанционного формирования и совместного использования полимодельных комплексов поддержки управления безопасностью разработаны специальные программные компоненты распределенной агентной платформы [83]:

- 1) средства формирования отдельных подмоделей с помощью разных методов моделирования и их интеграции в общий полимодельный комплекс;
- 2) средства, обеспечивающие согласование и выбор общесистемного шага моделирования для различных подмоделей;
- 3) процедуры формирования и исполнения подмоделей внутри имитационного аппарата когнитивных агентов и автоматизированная обработка результатов моделирования;
- 4) средства интеграции (консолидации) результатов в разрезе конкретной решаемой задачи (проблемы) управления безопасностью развития системы и другие.

Перечисленные компоненты обеспечивают расширение функциональных возможностей существующих агентных платформ, применяемых для поддержки функционирования и взаимодействия программных когнитивных агентов, представляющих интересы субъектов проблемно-ориентированной деятельности в виртуальных распределенных информационных средах.

Разработанные управляющее ядро и функциональные компоненты распределенной агентной платформы обеспечивают технологическую основу для создания и использования полимодельных комплексов для решения задач управления региональной безопасностью и поддержание их корректной работы в процессе согласования индивидуальных и групповых целей когнитивных агентов субъектов безопасности. Компоненты управляющего ядра обеспечивают поддержание корректного и согласованного функционирования когнитивных агентов субъектов безопасности в рамках мультиагентной виртуальной среды, а также выполнение процедур автоматизированного синтеза проблемно-ориентированных имитационных моделей из шаблонов для создания полимодельных комплексов и их последующего использования в имитационном аппарате агентов для реализации их прогностических и когнитивных (познавательных) функций.

### **3.4.2. Методы организации функционирования мультиагентной информационной среды региональной безопасности**

Ключевыми проблемами создания и организации информационной среды региональной безопасности на базе технологий одноранговых мультиагентных информационных систем являются: формирование и поддержание в актуальном состоянии адресного реестра агентов (узлов) в условиях открытой информационной среды, децентрализованный контроль доступа к информации, обеспечение баланса нагрузки на элементы коммуникационной и вычислительной среды при большом количестве входящих в систему узлов (агентов). Кроме того, для таких систем характерны большие объемы и высокая скорость обрабатываемой информации, что делает критичной задачу обеспечения эффективного межагентного информационного взаимодействия в этих системах. Для обеспечения в таких условиях эффективного функционирования распределенной информационной среды региональной безопасности в логику ее работы должны быть заложены алгоритмы самоорганизации, обеспечивающие баланс между масштабируемостью системы и нагрузкой на коммуникационную и вычислительную среду.

Для решения этих проблем разработан метод минимизации межузловых взаимодействий в одноранговых проблемно-ориентированных распределенных системах [68]. Метод основан на кластеризации программных агентов в семантическом пространстве, представленном в виде концептуальной модели предметной области, и преобразовании межузловых взаимодействий агентов во внутриузловые. Реализация метода обеспечивает сокращение нагрузки на коммуникационную инфраструктуру и повышение коэффициента доступности прикладных служб программных агентов. Реализованные в рамках метода алгоритмы самоорганизации агентов позволяют сократить время отклика на динамику среды, имитирующей поле принятия управленческих решений в сфере региональной безопасности, в которой функционируют агенты, и общую нагрузку на сеть, способствуют повышению интенсивности информационного обмена между агентами. Эффект достигается за счет использования алгоритмов локализации межагентных коммуникаций и распределения нагрузки [69, 70], динамического формировании адресного реестра агентов и узлов [173], а также модели коммуникации агентов на базе архитектуры «доска объявлений» [195] с динамической структурой.

Вместе с тем, для уменьшения сетевого трафика и нагрузки на элементы информационной инфраструктуры региональной безопасности разработан метод генерализации формализованных описаний кризисных ситуаций и решаемых задач на базе древовидных концептуальных моделей предметной области, использующем процедуры генерализации, предложенные в работе [170]. Метод обеспечивает автоматизированное обобщение семантики группы решаемых задач в рамках генерализованной кризисной ситуации и, посредством этого, потенциальное увеличение количества генерируемых в рамках информационной среды региональной безопасности виртуальных организационных структур управления безопасностью.

Эффект достигается за счет уменьшения количества коммуникаций между агентами системы и снижения объемов обрабатываемой ими информации. Для этого в пределах формируемых проблемно-ориентированных мультиагентных виртуальных пространств используются агенты-посредники (брокеры), выполняющие функции модераторов и оперирующие генерализованными концептуальными описаниями кризисных ситуаций. Последние получены на основе детализированных описаний кризисных ситуаций и решаемых задач, находящихся в поле компетенции агентов субъектов управления безопасностью, функционирующих в рамках одного виртуального управляющего центра и имеющих сходные цели и сферы интересов.

Генерализации могут подвергаться как отдельно взятые кризисные ситуации или задачи управления безопасностью, так и их классы (группы). В первом случае это делается для ослабления критериев поиска с целью увеличения количества возможных альтернатив, удовлетворяющих критерию. Во втором случае результатом генерализации является формирование кризисной ситуации, обобщающей по своему содержанию несколько других, близких по смыслу. Технически, генерализация нескольких задач управления безопасностью или кризисных ситуаций заключается в создании новой задачи или ситуации, «покрывающей» исходные, и генерации для решения этой задачи или ситуации программного агента, обладающего необходимым набором компетенций и представляющего генерализованные компетенции коалиции агентов, соответствующих исходным задачам или ситуациям. При этом вновь созданный агент сохраняет в собственных структурах данных ссылки на агентов, представляющих детализированные описания кризисных ситуаций и решаемых задач,

находящихся в их компетенции, что позволяет, при необходимости, ретранслировать запросы с целью получения более подробной информации о кризисных ситуациях.

## **Выводы**

Подводя итоги третьей главы, отметим полученные результаты:

1. Разработаны методы и средства мультиагентной виртуализации процессов принятия управленческих решений в сфере региональной безопасности. Разработки обеспечили основу для создания коалиционных мультиагентных систем информационной поддержки принятия решений, построенных на базе нового типа проактивных программных объектов – когнитивных агентов с имитационным аппаратом, имеющих гибридную архитектуру. Эти системы представляют собой тренажерно-моделирующие комплексы для информационной поддержки и координации управления региональной безопасностью и реализуются в виде сети виртуальных управляющих центров. Формирование и функционирование этих центров основано на созданных моделях самоорганизации агентов. На базе координации взаимодействия агентов внутри коалиций, образующих виртуальные управляющие центры, обеспечивается повышение эффективности сетевентрического управления безопасностью региона.

2. Реализация имитационного аппарата внутри когнитивных агентов расширяет их адаптационные и функциональные возможности, повышает их автономность. Используя имитационный аппарат, агенты становятся способными самостоятельно пополнять знания о внешней среде и корректировать стратегию своего поведения, активизируя те или иные алгоритмы управления в зависимости от текущей ситуации.

3. Разработанные методы и технологии формирования сетевентрических виртуальных проактивных систем для информационной поддержки управления сложными объектами являются конкретизацией и расширением существующих мультиагентных технологий, средств семантической интеграции информационных ресурсов, технологий одноранговых информационных систем и технологий распределенного моделирования на базе облачных и веб-сервисов для конкретной предметной области – региональной безопасности. Их специфика заключается в активном оперировании семантикой информационных элементов при решении технологических проблем, возникающих на разных этапах построения и поддержки

функционирования информационной среды региональной безопасности. Разработки ориентированы на предметные области с древовидной структурой, что обеспечивает возможность создания и последующего использования специфического программно-алгоритмического инструментария, повышающего эффективность функционирования информационной среды региональной безопасности.

4. Полученные результаты обеспечили организационную и технологическую основу для формирования расширяемой многофункциональной информационно-аналитической среды поддержки управления региональной безопасностью. Это позволяет перейти к следующему этапу исследований – разработке архитектуры и функциональных компонентов сетевоцентрической информационной инфраструктуры региональной безопасности, реализации методов и технологий формирования и конфигурирования информационной среды региональной безопасности.

## ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ И КОМПОНЕНТОВ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В главе приводится описание архитектуры и системообразующих элементов мультиагентной информационно-аналитической среды региональной безопасности (ИАС РБ). Рассматриваются функциональная структура и особенности программно-алгоритмической реализации компонентов ИАС РБ. ИАС РБ имеет сетевентрическую организацию. Сетевентричность предполагает сетевую структуру организационного управления с выделенными управляющими центрами. ИАС РБ представляет собой распределенную систему автономных агентов, информационных ресурсов и веб-сервисов, а также специального программного обеспечения, поддерживающего совместное использование элементов этой системы в единой информационной среде.

Представленные разработки обеспечивают формирование и функционирование расширяемой многофункциональной информационной среды для повышения эффективности сетевентрического управления безопасностью региона и ее интеграцию в региональное информационное пространство.

### **4.1. Архитектура виртуальной среды региональной безопасности**

При выборе архитектуры построения открытой расширяемой информационно-аналитической среды региональной безопасности принимались во внимание следующие основные факторы, определяющие специфику требований к ее функциональным возможностям и эксплуатационным характеристикам [58]:

- территориальная распределенность и организационная разнородность субъектов управления безопасностью;
- симметричность информационных взаимодействий субъектов управления безопасностью;
- существование множества разнородных проблемно-ориентированных систем, предназначенных для информационной поддержки управления различными составляющими региональной безопасности (унаследованных систем).

Вместе с тем, при проектировании архитектуры системы необходимо учитывать следующие специфические особенности синтезируемой виртуальной

среды региональной безопасности, соответствующие сформулированным в первой главе требованиям к средствам информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью. К этим требованиям относятся [74]:

- мультиагентная реализация;
- сетецентрическая организация;
- децентрализация функций управления и принятия решений;
- интероперабельность интегрируемых разнородных информационно-вычислительных ресурсов;
- высокая автономность активных программных компонентов (агентов и сервисов);
- способность к саморазвитию и самоорганизации;
- адаптивность к динамике внешней среды.

Территориальная распределенность субъектов управления безопасностью естественным образом заставляет использовать при построении целостной информационной среды региональной безопасности распределенную архитектуру. При этом, какая бы конкретно архитектура распределенных информационных систем (РИС) ни использовалась, субъект управления безопасностью должен иметь возможность с собственного рабочего места получать доступ ко всем (или, по крайней мере, большей части) функциям распределенной информационной среды, то есть в информационной системе должен быть реализован распределенный доступ к информационно-вычислительным ресурсам.

Наиболее известной архитектурой, реализующей распределенный доступ, является архитектура с централизованным (выделенным) сервером (рисунок 4.1).

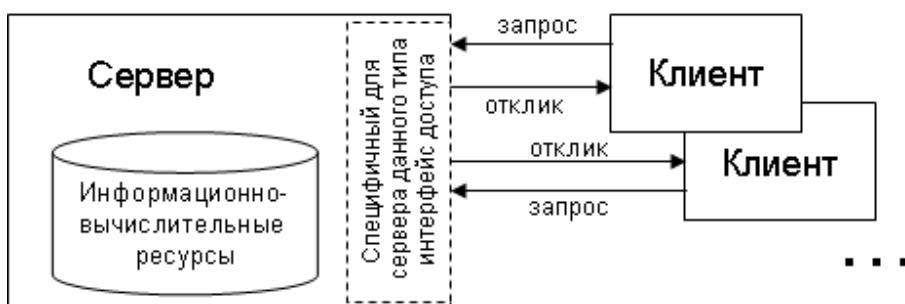


Рисунок 4.1 - Архитектура с централизованным сервером

К данному типу относятся архитектура веб-систем, клиент-серверная и файл-серверные архитектуры [87], различающиеся внутренней организацией серверов,

используемыми коммуникационными протоколами, содержанием информационных запросов и откликов.

Одной из важных особенностей архитектур с централизованным сервером является функциональная асимметричность компонентов системы. Роли сервера и клиентов различны: первый – предоставляет некоторый ресурс/сервис, последние – генерируют запросы к серверу и используют полученные от него ресурсы и сервисы.

Централизованная архитектура характеризуется рядом достоинств, к которым относятся: невысокая стоимость реализации, простота администрирования, более простые, в сравнении с децентрализованными системами, алгоритмы функционирования системных служб и, как следствие – более высокая надежность.

Основными проблемами систем подобного типа являются:

- уязвимость центрального звена (при отказе сервера нарушается работоспособность всей системы);
- высокая нагрузка на серверные компоненты при большом количестве клиентов и, как следствие – ограниченная масштабируемость;
- централизованное администрирование подразумевает полный контроль над ресурсами на стороне сервера, что не всегда приемлемо, если ресурсы принадлежат разным организациям.

«Транскорпоративный» характер современных РИС увеличивает требования к модульности построения системы и максимально возможной независимости ее компонентов. Для того чтобы обеспечить «гибкие политики» использования информационно-вычислительных ресурсов, с одной стороны, и увеличить степень их повторного использования – с другой, компоненты информационной системы должны быть все более независимы друг от друга. Эти требования нашли отражение в современной тенденции к использованию слабосвязанных (*loosely-coupled*) архитектур РИС [201]. Практика показывает, что сложные системы могут быть построены только на принципах слабой связанности между компонентами. Технологическую основу слабосвязанных архитектур составляет программное обеспечение промежуточного слоя, ориентированное на сообщение (*message-oriented middleware* – МОМ). Наиболее популярной современной разновидностью МОМ являются веб-сервисы (веб-службы) – программные системы, идентифицируемые строкой URI (Uniform Resource Locator – универсальный указатель/адрес ресурса в

сети Интернет), чьи общедоступные интерфейсы определены на языке XML (eXtensible Markup Language - расширяемый язык разметки). Описание этих программных систем может быть найдено другими программными системами, которые могут взаимодействовать с ними согласно этому описанию посредством сообщений, основанных на XML [151]. На основе технологии веб-служб могут реализовываться как системы с распределенной обработкой данных, так и с распределенным доступом и хранением информации. В последнем случае обеспечивается децентрализованное администрирование серверных компонентов информационной системы, что позволяет решать проблему организационной разнородности пользователей РИС.

Слабосвязанные, в частности - сервис-ориентированные архитектуры, являются эффективным способом реализации проблемно-ориентированных распределенных систем информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью, поскольку как процессы, так и субъекты управления безопасностью характеризуются территориальной распределенностью, организационно разнородны, различаются по составу и динамике.

Важным аспектом, который необходимо учитывать при выборе архитектуры реализации информационной среды региональной безопасности, является симметричность информационных функций и продолжительный характер информационной активности субъектов управления безопасностью. С точки зрения системы обработки информации, функции компонентов системы симметричны, если они выступают как в роли поставщиков (серверов), так и в роли потребителей данных (клиентов). В традиционных клиент-серверных системах эти роли четко разграничены, что находит отражение и в архитектуре информационной системы, состоящей из узлов двух типов – клиентских и серверных.

Подобную симметричную функциональность обеспечивают одноранговые или пиринговые (от англ. peer-to-peer, P2P) РИС [149]. В отличие от архитектур с выделенным сервером, логика функционирования всех узлов одноранговой системы (пиров) одинакова, а информационно-вычислительные ресурсы (в том числе – системная информация), напротив, распределены. Отличительными особенностями пиринговых систем, согласно [182], являются:

- отсутствие централизованной координации узлов;

- отсутствие централизованных баз управляющей информации;
- ни один узел не имеет полного представления о структуре всей системы;
- поведение системы в целом определяется взаимодействиями отдельных узлов;
- все имеющиеся в системе данные и службы доступны любому узлу;
- узлы автономны;
- узлы и соединяющие их коммуникации априори ненадежны.

Перечисленные особенности делают одноранговые системы максимально открытой, легко масштабируемой и наращиваемой архитектурой РИС.

Таким образом, одноранговая архитектура с одной стороны обеспечивает высокие эксплуатационные показатели функционирования РИС, а с другой – органично соответствует симметричному характеру информационного взаимодействия субъектов управления региональной безопасностью.

Обеспечение симметричного и продолжительного во времени информационного взаимодействия между субъектами управления безопасностью может быть достигнуто на основе реализации агентной модели организации информационной среды [164]. Наиболее значимыми, в контексте задачи построения расширяемой информационной среды региональной безопасности, свойствами программных агентов являются [198]:

- автономность – агенты могут выполнять свои задачи без непосредственного вмешательства пользователя или других агентов;
- про-активность – способность изменять состояние среды функционирования в ходе решения задачи (в отличие от реактивных, агенты, обладающие данным свойством, не просто реагируют на изменения среды, но и сами ее изменяют);
- реактивность – агенты реагируют на изменения среды в реальном времени;
- способность существовать как постоянно выполняющийся процесс;
- способность выполняться от имени некоторого владельца;
- взаимодействие – при возникновении соответствующей потребности агенты взаимодействуют с другими агентами или людьми с целью получения или оказания помощи в решении задачи;
- мобильность – способность перемещаться между узлами сети во время выполнения (агенты, не обладающие этим свойством, являются статическими);

– гибкость и обучаемость – логика поведения агентов не фиксирована и может изменяться как в результате вмешательства пользователя, так и в результате деятельности самого агента и его взаимодействия с другими агентами.

Агент, таким образом, способен инкапсулировать в себе как функции поиска, так и функции предоставления информации, реализуя, тем самым, симметричную схему информационного взаимодействия. В этом отношении агенты представляют собой аналог участников одноранговой сети. Мультиагентная система поддерживает одноранговую модель взаимодействия на уровне реализации вычислений и автоматизируемых операций (уровень прикладной логики информационной системы).

Создав, в виде агента, собственного представителя в виртуальной среде, пользователь освобождается от необходимости многократно повторять действия по формированию, отправке и обработке информационных запросов. Симметричная функциональность агентов создает предпосылки для более эффективного формирования возможных виртуальных организационных структур для решения конкретных задач управления безопасностью, а их реактивность, про-активность и автономность делают распределенную среду «живой», активно функционирующей при минимальном участии пользователя. Таким образом, мультиагентный подход является адекватным средством создания открытой расширяемой саморазвивающейся информационной среды региональной безопасности.

Еще одним обстоятельством, важным с точки зрения построения архитектуры информационной среды региональной безопасности, является существование так называемых «унаследованных систем» - разнородных не взаимосвязанных информационных систем управления безопасностью критически важных объектов региональных систем. К ним относятся различного рода ведомственные информационные системы, мониторинговые информационно-аналитические системы ситуационно-кризисных центров, отдельные веб-ресурсы и открытые информационные порталы и т.д. Эти ресурсы интегрируют в себе большой объем разноплановой информации о различных аспектах региональной безопасности, объектах обеспечения безопасности, кризисных ситуациях и т.п. При этом, кроме естественного отличия в информационном наполнении, информационно-вычислительные ресурсы характеризуются технологической, семантической и организационной разрозненностью, которая затрудняет их эффективное

использование в задачах информационной поддержки управления региональной безопасностью. Технологическая разнородность выражается в различных форматах хранения данных, различных технологиях создания ресурсов и, как следствие, различных способах организации пользовательской работы с ними. Семантическая разнородность заключается в использовании в рамках ресурсов различных семантических моделей, определяющих смысл содержащегося в них контента. В результате, внешне (синтаксически) одни и те же понятия могут иметь различную смысловую нагрузку и наоборот – одно понятие может обозначаться формально различными синтаксическими конструкциями, что затрудняет возможность унификации приемов оперирования информацией, содержащейся в данных ресурсах. Организационная разнородность подразумевает различную организационную принадлежность информационных ресурсов, что порождает специфические проблемы регулирования доступа к информации. Все это требует обеспечения интероперабельности интегрируемых в рамках единой информационной среды региональной безопасности программных компонентов, ресурсов и сервисов для повышения эффективности межведомственной деятельности в этой сфере.

Архитектура распределенной информационной среды региональной безопасности должна обеспечивать использование в ее рамках унаследованных информационных систем. Для этого необходимо обеспечить унифицированный доступ к информационным ресурсам и сервисам, используемым для решения задач информационной поддержки управления региональной безопасностью, как к единому целому. Логическая интеграция ресурсов и сервисов позволит, с одной стороны, обеспечить пользователя свободным доступом к семантически разнородным данным, хранящимся на различных технологически и организационно разнородных информационных серверах и обеспечить прозрачный доступ к разнородным территориально распределенным данным в рамках проблемно-ориентированных процедур автоматизированной обработки информации – таких, как синтез виртуальных организационных структур управления безопасностью и оценка показателей безопасности для конкретных кризисных ситуаций.

Известны несколько путей решения этой задачи, один из которых – это сознание централизованного Интернет-портала, инкапсулирующего в себе все возможные ресурсы и сервисы для информационной поддержки принятия

управленческих решений в сфере региональной безопасности, или содержащего ссылки на них. Примером такого подхода может служить открытый информационный портал Barentswatch норвежской компании Kongsberg Spacetec. AS, созданный для информационно-аналитической поддержки управления экологической и эксплуатационной безопасностью арктических коммуникаций [88].

Альтернативой централизованной является распределенная система интеграции веб-ресурсов, которая позволяет объединить множество независимых, разрозненных как географически, так и логически информационных ресурсов в логически целостное информационное пространство [76]. Логическая интеграция разнородных территориально распределенных информационных ресурсов является более сложной задачей, в сравнении с их непосредственной интеграцией на некотором едином сервере. Однако, в условиях организационной разнородности субъектов управления безопасностью и требований свободной расширяемости информационной среды подход к интеграции ресурсов на базе единого централизованного портала или интегрированной системы управления региональной безопасностью не применим.

Исходя из вышесказанного, архитектура распределенной информационной среды региональной безопасности имеет вид, приведенный на рисунке 4.2 [58].

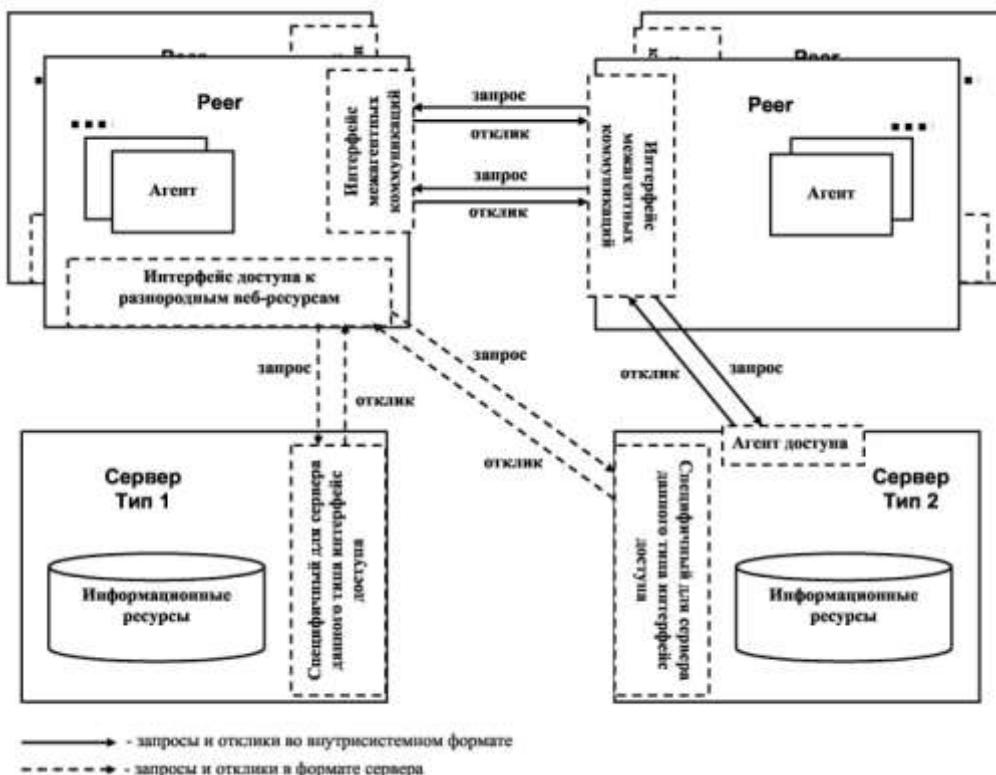


Рисунок 4.2 - Обобщенная архитектура распределенной информационной среды региональной безопасности на базе агентных и P2P-технологий

Основная функциональность системы реализуется узлами одноранговой сети (на рисунке – Peer), выполняющими также роль агентной платформы. Взаимодействие между агентами, дислоцирующимися на узлах сети, симметрично: каждый из них может быть как источником информационного запроса, так и играть роль сервера, обслуживающего запрос со стороны другого агента.

Серверы 1-го и 2-го типов представляют в составе единой информационной среды существующие системы информационной поддержки управления региональной безопасностью. К первому типу относятся системы, не допускающие инсталляции на стороне сервера дополнительных программных модулей, реализующих агентов доступа к серверным данным. Для работы с серверами такого типа используются обычные механизмы и протоколы передачи запросов и получения результатов их обработки, например – протокол HTTP. Согласование общесистемных форматов запросов и откликов, а также используемых схем данных осуществляется на стороне узла (Peer) в рамках интерфейса доступа к разнородным веб-ресурсам. Такой подход к интеграции унаследованных систем, очевидно, наиболее гибок, однако сопряжен с потенциально большей нагрузкой на коммуникационную сеть, так как исключает возможность предварительной обработки извлеченных данных на стороне сервера и отправки, в рамках отклика, более компактного результата. Второй тип сервера, напротив, допускает инсталляцию программного обеспечения агента доступа, осуществляющего все необходимые преобразования форматов данных и используемых схем локально, на стороне сервера, и взаимодействующего с другими агентами с использованием общесистемных коммуникационных протоколов и форматов данных. Для согласования разных технологий хранения и представления данных на стороне информационных серверов используются программные адаптеры ресурсов, реализующие специфичные для каждого конкретного ресурса механизмы доступа и извлечения данных.

Интерфейсные модули узлов системы, реализуемые на основе технологии веб-сервисов, описывается на языке WSDL, а в качестве коммуникационного протокола используется SOAP [103].

Для повышения эффективности поиска информации в децентрализованной информационной среде использована технология формирования и поддержки распределенного адресного реестра в одноранговых системах с неявной

иерархической организацией [173]. Технология обеспечивает сокращение объемов адресных баз одноранговых узлов (агентов) при сохранении логической связности адресного пространства за счет ассоциирования агентов (узлов) с семантическим пространством предметной области, представленным в виде древовидной концептуальной модели. Для управления доступом к ресурсам и сервисам в сетевоцентрической виртуальной среде реализованы механизмы доверительных отношений, основанные на стохастической имитационной модели расчета уровней репутации агентов [172] и моделях управления информационной безопасностью программных мобильных агентов [80], перемещающихся между узлами сети.

В качестве средств семантической интеграции разнородных информационных ресурсов и сервисов в работе используются методы и технологии интеграции на базе программного обеспечения промежуточного слоя и онтологий [53, 65].

Разработанная многоуровневая информационно-технологическая архитектура виртуальной среды региональной безопасности показана на рисунках 4.3 – 4.4.

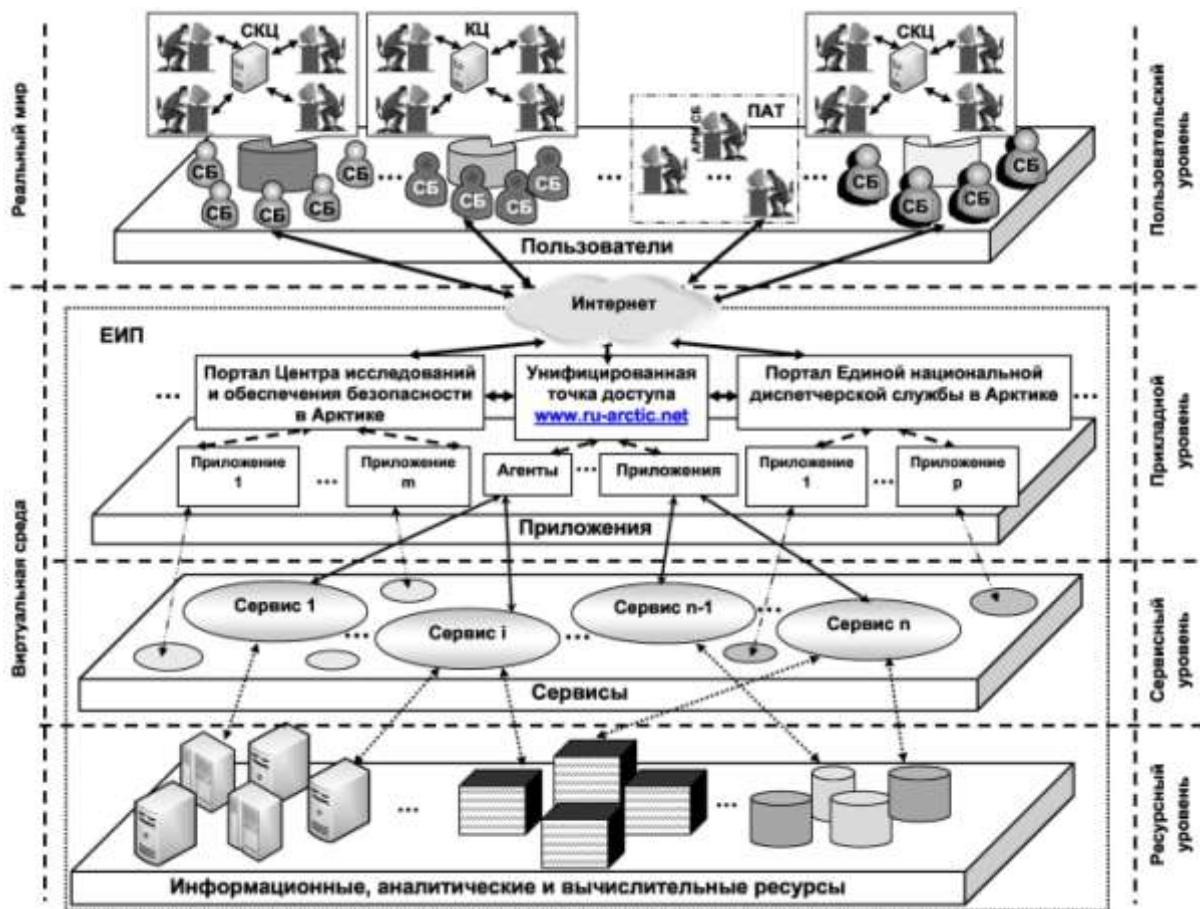


Рисунок 4.3 - Логическая архитектура информационно-аналитической среды региональной безопасности

Обозначения, используемые на рисунке 4.3: СКЦ - ситуационно-кризисный центр; КЦ – когнитивный центр; АРМ СБ – автоматизированное рабочее место субъекта управления безопасностью; ПАТ – пользователи, интересующиеся арктической тематикой.

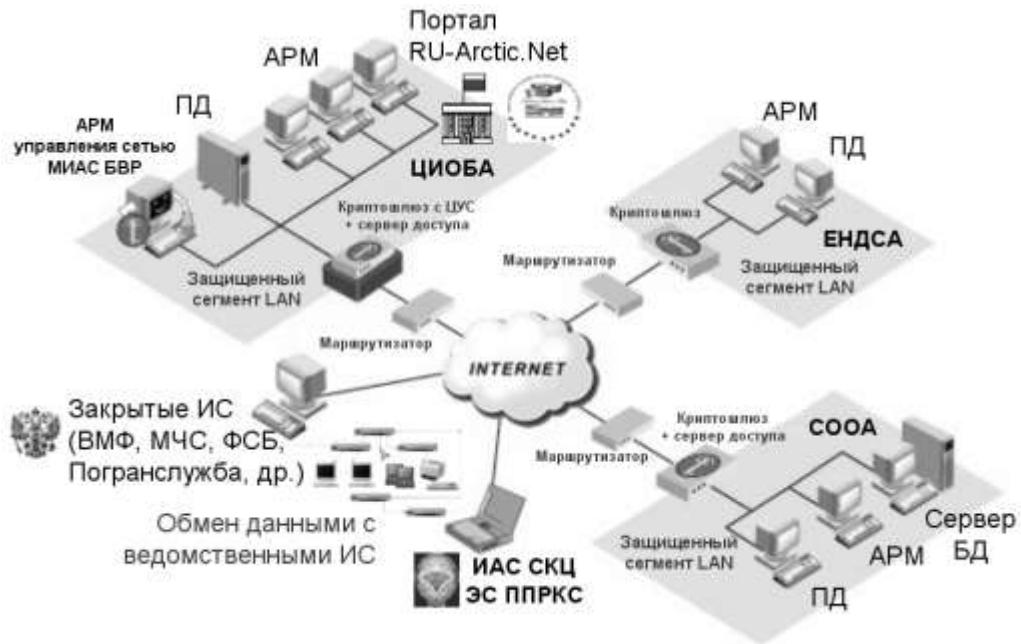


Рисунок 4.4 - Архитектура ИАС «Безопасный Виртуальный Регион»

Обозначения на рисунке 4.4: АРМ – автоматизированное рабочее место; ПД – поставщик данных; БД – база данных; ИС – информационная система; ЦУС – центральный управляющий сервер; ИАС – информационно-аналитическая система; СКЦ – ситуационно-кризисный центр; ЭС ППРКС – экспертная система поддержки принятия решений в кризисных ситуациях; ЦИОБА – Центр исследований и обеспечения безопасности в Арктике; ЕНДСА – Единая национальная диспетчерская служба в Арктике; СООА – система освещения обстановки в Арктике.

Логическая архитектура ИАС РБ включает четыре основных уровня:

1. *Пользовательский уровень* или *уровень прикладных задач* ассоциируется с объектами реального мира и представлен конкретными субъектами регионального управления, включая хозяйствующих субъектов, и организационными структурами, профиль деятельности которых связан с обеспечением региональной безопасности.

2. *Прикладной уровень* инкапсулирует в себе функционал уровня приложений модели взаимодействия открытых систем OSI (Open Systems Interconnection) и уровня клиентских приложений. Прикладной уровень содержит интегрируемые в рамках ИАС РБ компоненты региональных информационных систем, веб-ресурсы и

ассоциируемые с ними средства оперативной аналитической обработки данных. Этот уровень является интерфейсом между объектами реального мира (участниками информационного взаимодействия, источниками данных и знаний) и их отображением в виртуальную среду региональной безопасности. Точка входа в ИАС РБ выполняет не только функцию интеграционной площадки компонентов ИАС РБ, но и обеспечивает унифицированный доступ к информационным ресурсам и сервисам ИАС РБ.

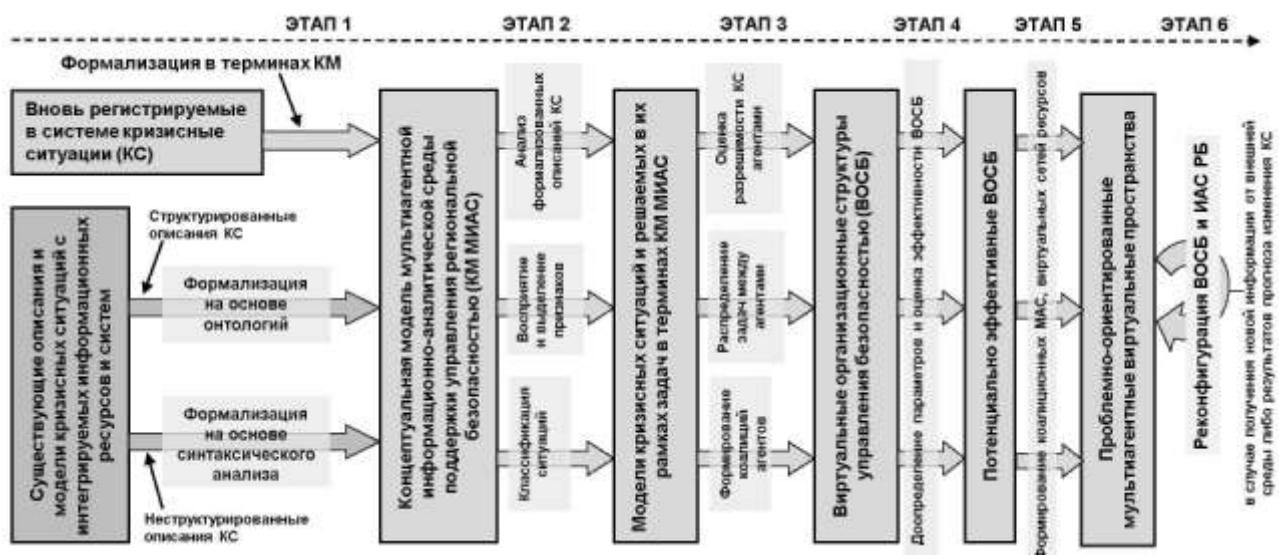
*3. Сервисный уровень* включает множество информационных и веб-сервисов, а также общесистемных служб, предоставляемых в ИАС РБ с помощью специальных программ, в том числе программных агентов. Технологически ИАС РБ построена на базе сервис-ориентированной архитектуры. Это обеспечило реализацию принципа агентной ориентации ИАС РБ. Подход заключается в использовании в качестве компонентов региональных информационных систем, образующих ИАС РБ, программных агентов и веб-сервисов, автономно функционирующих в ИАС РБ и обладающих целенаправленным поведением.

*4. Ресурсный уровень* или *уровень данных* объединяет в себе множество разнородных информационных ресурсов (пространственная и атрибутивная информация, семантические данные и т.д.), необходимых для решения комплекса задач информационной поддержки принятия решений на всех уровнях управления региональной безопасностью. На этом уровне также интегрируются полимодельные комплексы и прикладные онтологии, предназначенные для моделирования задач управления региональной безопасностью в условиях кризисных ситуаций.

#### **4.2. Технология динамического формирования и конфигурирования мультиагентной виртуальной среды региональной безопасности**

Задача динамического конфигурирования ИАС РБ непосредственно связана с формированием коалиций агентов и ассоциированных с ними виртуальных сетей ресурсов и сервисов для информационной поддержки принятия решений на разных уровнях управления в каждой области региональной безопасности при возникновении разнотипных кризисных ситуаций в динамически меняющихся условиях обстановки. В результате должны формироваться проблемно-ориентированные мультиагентные виртуальные пространства для каждой области региональной безопасности.

Для решения этой задачи в ходе диссертационного исследования разработана когнитивная технология динамического синтеза и конфигурирования проблемно-ориентированных коалиционных мультиагентных систем [63]. Технология основана на виртуализации процессов принятия решений в сфере управления региональной безопасностью. Особенностью технологии является применение предложенных в диссертации моделей координации и механизмов самоорганизации когнитивных агентов для формирования коалиций агентов и ассоциированных с ними сетей информационных ресурсов. Технология обеспечивает повышение автономности, интероперабельности и эффективности взаимодействия интегрируемых в рамках ИАС РБ разнородных информационно-вычислительных ресурсов. Технология предназначена для поддержки функционирования ИАС РБ в условиях децентрализованного управления и высокой динамики информационного окружения. Структура и функциональные блоки технологии представлены на рисунке 4.5.



Технология реализуется в девять этапов включающих следующие операции:

- 1) синтез моделей виртуальных организационных структур управления (ВОСБ) для разнотипных кризисных ситуаций, определение их структуры и состава;
- 2) выбор потенциальных участников ВОСБ на уровнях стратегического и тактического планирования на основе анализа компетенций и профилей зарегистрированных в ИАС РБ субъектов управления безопасностью;

- 3) формирование коалиций агентов, таких, что их суммарные компетенции удовлетворяют требованиям решаемых задач управления региональной безопасностью в кризисных ситуациях определенного класса безопасности;
- 4) формирование виртуальных сетей информационных ресурсов, ассоциированных с задачами управления безопасностью в условиях кризисных ситуаций и синтезированными коалициями агентов, образующими ВОСБ;
- 5) поиск и композиция сервисов (аналитических ресурсов) обработки и анализа сформированных на четвертом шаге наборов данных для каждой области региональной безопасности и множества решаемых задач;
- 6) анализ качества конфигурации сформированных ВОСБ и оценка эффективности их реализации;
- 7) по результатам шестого этапа при необходимости выполняется доопределение параметров локального контекста агентов или информационных объектов ИАС РБ, после чего осуществляется реконфигурация сформированных ВОСБ;
- 8) формирование на основе синтезированных ВОСБ проблемно-ориентированных мультиагентных виртуальных пространств для каждой области региональной безопасности, представляющих собой коалиционные мультиагентные системы, представленные совокупностью взаимодействующих коалиций когнитивных агентов, виртуальных сетей ресурсов и сервисов;
- 9) реорганизация и реконфигурация ИАС РБ в случае получения новой информации из внешней среды, подключения новых узлов к ИАС РБ (агентов, веб-сервисов, источников данных), регистрации новых субъектов управления безопасностью в системе, удаления (деактивации) профилей пользователей, интеграции компонентов сторонних информационных систем и т.д.

Динамическое конфигурирование и самоорганизация компонентов ИАС РБ являются необходимым и достаточным условием для поддержания ее работоспособности и саморазвития в региональном информационном пространстве. Эффект, получаемый от использования ИАС РБ, тем выше, чем больше и содержательнее ее внутренний объем - количество зарегистрированных разнотипных субъектов управления безопасностью и их агентов, веб-сервисов, подключенных узлов, информационных ресурсов, интегрированных программных компонентов ведомственных информационных систем и т.д. Однако рост объема системы

естественным образом приводит к возрастанию сложности задач поиска информационных элементов и сервисов, композиции вариантов виртуальных организационных структур управления безопасностью (ВОСБ) из-за полиномиального роста количества альтернатив. Для того чтобы система не теряла работоспособность в условиях собственного неограниченного роста, необходимы специальные механизмы самоорганизации, позволяющие динамично формировать ее внутреннюю структуру. Реализация таких механизмов обеспечит сокращение объемов обрабатываемых и передаваемых данных в процессе регистрации новых информационных ресурсов и веб-сервисов в системе, а также в ходе поиска агентов совместной деятельности на распределенных узлах системы, оценки их компетенций с последующим формированием коалиций и синтезом эффективных моделей ВОСБ.

Для решения этой задачи в работе предлагается механизм самоорганизации агентов, повышающий эффект от реализации модели самоорганизации на основе градиентных (вычислительных) полей, рассмотренной в третьей главе диссертации. Механизм самоорганизации основан на процедурах генерализации формализованных описаний кризисных ситуаций и решаемых задач с помощью древовидных концептуальных моделей предметной области. Формальные процедуры генерализации предложены в работе [170]. В процессе генерализации осуществляется ослабление критериев поиска сервисов агентов и информационных ресурсов, используемых в ходе синтеза ВОСБ, в семантическом пространстве, представляемом концептуальной моделью предметной области (онтологией региональной безопасности). При этом также используется древовидный классификатор кризисных ситуаций для различных сфер безопасности. Процедура генерализации обеспечивает автоматизированное обобщение семантики группы решаемых задач в рамках генерализованной кризисной ситуации и, посредством этого, потенциальное увеличение количества генерируемых в рамках виртуальной среды альтернативных вариантов ВОСБ. Технически генерализация семантического описания нескольких задач управления безопасностью или кризисных ситуаций заключается в создании новой задачи или ситуации, «покрывающей» исходные, и генерации для решения этой задачи или ситуации программного агента, обладающего необходимым набором компетенций и представляющего генерализованные компетенции коалиции агентов.

При таком подходе предварительное формирование проблемно-ориентированных мультиагентных виртуальных пространств осуществляется посредством отображения целей и компетенций агентов на древовидные концептуальные модели предметной области, последующей локализации основной части поисковых и иных запросов агентов внутри группы и дальнейшего анализа активности их коммуникаций друг с другом. Сходство интересов (в том числе решаемых задач, требуемого набора компетенций или сервисов и т.д.) приводит к тому, что наиболее активные и информационно-насыщенные коммуникации агентов сосредоточены внутри отдельно взятого виртуального пространства, тогда как за его пределами информационный обмен менее активен. Подход основан на авторской мультиагентной технологии формирования виртуальных интеграционных площадок, предложенной в работе [78]. Технология обеспечивает возможность уменьшения сетевого трафика и нагрузки на узлы системы за счет сокращения количества коммуникаций между агентами системы и снижения объемов обрабатываемых и передаваемых агентами данных в распределенной информационной среде.

Конфигурация ИАС РБ напрямую зависит от параметров конфигурации формируемых проблемно-ориентированных мультиагентных виртуальных пространств для каждой области региональной безопасности, то есть модель конфигурации ИАС РБ, как составной части единого информационного пространства региона, описывается набором конфигурационных моделей:

$$VE_{i\in\tilde{N}} = \{VE_i|_{CSC_i}\}, i = \overline{1..M}, VE_{i\in\tilde{N}} \subset VE_{region}, \quad (4.1)$$

где  $VE_{region}$  - конфигурационная модель регионального информационного пространства;  $VE_i|_{CSC_i}$  - конфигурационная модель проблемно-ориентированного мультиагентного виртуального пространства, сформированного для решения задач информационной поддержки управления в кризисных ситуациях  $i$ -го класса безопасности;  $M$  - число образующих ИАС РБ проблемно-ориентированных мультиагентных виртуальных пространств, причем  $M$  может быть как фиксировано в случае использования общепринятого древовидного классификатора кризисных ситуаций для различных видов безопасности, так и динамически меняться с учетом самоорганизации элементов ИАС РБ, подключения новых узлов, генерации агентов, регистрации кризисных ситуаций или поступления в систему новой информации.

Формально модель конфигурации проблемно-ориентированного мультиагентного виртуального пространства описывается набором множеств:

$$VE_i |_{CSC_i} = \{SS^i, R^i, AS^i, WS^i, Z^i |_{CSC_i}\}, \quad (4.2)$$

где  $SS^i$  - множество ВОСБ, образующих  $i$ -е виртуальное пространство,

$SS^i = \left\{ coal_{f_{z_q}^{j,i}, l_{z_q}^k} \subseteq A \right\}$ ,  $coal_{F_{z_q}^j, I_{z_q}^k} \subseteq A$  - множество коалиций агентов, участвующих

в решении задач  $z_q \in Z^i |_{CSC_i}$  с компетенциями  $(F_{z_q}^j, I_{z_q}^k)$ ;  $R^i$  - множество разнотипных информационных и аналитических ресурсов, интегрируемых в рамках  $i$ -го виртуального пространства;  $AS^i$  - множество сервисов агентов;  $WS^i$  - множество зарегистрированных в ИАС РБ веб-сервисов, используемых в  $i$ -м виртуальном пространстве;  $Z^i |_{CSC_i}$  - множество задач, решаемых в рамках кризисных ситуаций  $i$ -го класса безопасности;  $CSC_i$  -  $i$ -й класс безопасности в соответствии с древовидным классификатором кризисных ситуаций.

Процедура конфигурирования ИАС РБ схематично показана на рисунке 4.6.



Рисунок 4.6 – Динамическое формирование и конфигурирование ИАС РБ

Таким образом, конфигурация проблемно-ориентированного мультиагентного виртуального пространства – это такая совокупность агентов субъектов безопасности,

сгруппированных в коалиции, и ассоциированных с ними доступных системных ресурсов и сервисов, что суммарная компетенция коалиций агентов обеспечивает решение комплекса задач в условиях кризисных ситуаций *i*-го класса безопасности.

Для решения задачи динамического конфигурирования проблемно-ориентированных виртуальных пространств и ИАС РБ в целом необходимы специальные методы обучения агентов. Для этого в диссертации предложен подход к обучению агентов, основанный на комбинированном использовании имитационного аппарата агентов и полимодельных комплексов, входящих в состав распределенной агентной платформы ИАС РБ, а также общепринятой в теории коллективного интеллекта модели на основе коллективного обучения с подкреплением [166, 211], являющейся частным случаем метода обучения с учителем. При этом в роли учителя выступает как сама среда, так и ее модель, заложенная в имитационный аппарат агента и развивающаяся им. В качестве одной из разновидностей моделей коллективного обучения с подкреплением предложено использовать модифицированный метод Q-обучения (Q-learning) [211], базирующийся на реализации алгоритмов Q-маршрутизации и оптимизации по принципу муравьиной колонии (Swarm Intelligence). Такой подход обеспечивает целенаправленный выбор стратегии поведения агентов с учетом опыта предыдущих взаимодействий со средой и с другими агентами. Ограничением метода Q-обучения [209] является его применимость только для ситуаций, которые можно представить в виде Марковского процесса принятия решений.

Новизна предложенного способа обучения агентов заключается в интеграции модели коллективного обучения с подкреплением (Q-learning) по принципу муравьиной колонии (Swarm Intelligence) и системно-динамической модели внешней среды, реализуемых в имитационном аппарате агентов. Это обеспечивает повышение автономности и результативности деятельности программных агентов при решении пользовательских задач в условиях неполных слабоструктурированных данных.

#### **4.3. Программные средства информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью**

Мультиагентная информационно-аналитическая среда региональной безопасности (ИАС «Безопасный Виртуальный Регион» [74]), основанная на

полученных теоретических результатах диссертационной работы, представлена следующими практическими разработками:

1) *Одноранговая распределенная агентная платформа* [83], представляющая собой совокупность функциональных модулей и программных средств, обеспечивающих, наряду с поддержанием среды исполнения и корректного функционирования агентов, синтез имитационных моделей из шаблонов для создания полимодельных комплексов и их последующее использование в процессе реализации аналитических, прогностических и когнитивных (познавательных) функций агентов при решении пользовательских задач. Реализация технологии дистанционного формирования имитационных моделей на базе типовых модельных шаблонов и управления процессом имитационного моделирования обеспечено как на уровне платформы, так и на уровне типового агента системы. Платформа построена на базе сервис-ориентированной архитектуры. Синтез полимодельных комплексов и их использование в рамках платформы обеспечивает расширение адаптационных и функциональных возможностей программных агентов.

Специализированными компонентами агентной платформы являются:

- средства формирования отдельных подмоделей с помощью разных методов моделирования и их интеграции в общий полимодельный комплекс;
- средства, обеспечивающие согласование и выбор общесистемного шага моделирования для различных подмоделей;
- процедуры формирования и исполнения подмоделей внутри имитационного аппарата когнитивных агентов;
- средства автоматизированной обработки результатов моделирования;
- средства интеграции (консолидации) результатов моделирования в разрезе конкретной решаемой задачи.

Архитектура агентной платформы также включает функциональные модули, реализующие внутреннюю логику функционирования агентов, протоколы межагентных коммуникаций, а также процедуры формирования коалиций агентов и модели управления их совместной деятельностью, методы оценки доверительных отношений между агентами, средства обеспечения информационной безопасности агентов и данных, алгоритмы миграции агентов, средства интеграции веб-сервисов и сервисов агентов.

2) *Сетецентрическая мультиагентная система информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью*, представляющая собой множество взаимосвязанных программных компонентов, реализующих функции разнотипных агентов субъектов управления безопасностью в виртуальной среде, общесистемных сервисов (сервис онтологий, сервис центров сертификации агентов и др.), а также специализированных системных служб, обеспечивающих интеграцию в систему разнородных информационных ресурсов и сервисов. Система обеспечивает формирование виртуальных организационных структур (коалиций агентов) управления региональной безопасностью.

Для уменьшения нагрузки на информационно-коммуникационную инфраструктуру в ходе межагентных коммуникаций и обмена данными в системе используются два типа агентов – мобильные агенты, способные перемещаться между узлами виртуальной среды для реализации локального поиска и обработки данных в пределах того или иного узла, и статичные агенты, технически реализуемые в виде локальных программ (.exe) или веб-сервисов.

В качестве технологии реализации распределенной мультиагентной среды использована технология CORBA (Common Object Request Broker Architecture) [87].

Базовые шаблоны программных агентов системы разработаны с помощью языка Java на базе платформы JADE (Java Agent Development Environment) [204], поддерживающей стандартную спецификацию Фонда интеллектуальных физических агентов FIPA-OS (Foundation for Intelligent Physical Agents) [202] для реализации когнитивных агентов, в соответствии с методологией проектирования многоагентных систем GAIA [190]. В качестве вспомогательного программного обеспечения для разработки спецификаций когнитивных агентов и их настройки на предметную область использованы инструментальные средства AgentBuilder [184] и Cougaar (Cognitive Agent Architecture) [189].

3) *Комплекс проблемно-ориентированных имитационных моделей* [89], созданный для прогнозирования и сценарного анализа социально-экономического развития региона и позволяющий оценить и исследовать динамику показателей региональной безопасности. Комплекс синтезирован на основе библиотеки типовых модельных шаблонов и используется агентами системы в составе имитационного аппарата для реализации прогностических функций и пополнения знаний о среде

функционирования, обеспечивает выбор стратегии поведения, либо конкретных действий. Для разработки базовых моделей и типовых имитационных шаблонов использовались инструментальные среды моделирования Powersim Studio SDK [125] и Anylogic [45].

4) *Мультипредметная веб-ориентированная информационная система Ru-Arctic* ([www.ru-arctic.net](http://www.ru-arctic.net)), реализующая унифицированную точку доступа к ресурсам и сервисам ИАС РБ и обеспечивающая виртуальное сотрудничество субъектов управления безопасностью в единой информационной среде.

При создании данного веб-ресурса использовались язык PHP, СУБД MySQL и технология Ajax. В качестве программного обеспечения, позволяющего управлять содержимым и структурой сайта, использована CMS-система WordPress. Для работы с картографическими источниками данных (интерактивными электронными картами) и визуализации пространственной информации с территориальной привязкой в рамках портала использован веб-ориентированный картографический сервер с открытым исходным кодом – GeoServer [213], предоставляющий доступ к открытым геоинформационным веб-сервисам.

Мультипредметная сущность ИАС РБ позволяет адаптировать систему под различные категории пользователей независимо от профиля их деятельности и основывается на технологиях Семантического Веба [29]. Для этого в качестве моделей представления знаний в рамках системы используются онтологии различных предметных областей и ассоциированных с ними разнородных информационных ресурсов, а также средства их интеграции [53, 82].

5) *Онтология региональной безопасности*, построенная на основе разработанной интегрированной концептуальной модели ИАС РБ [64] и используемая в качестве базы знаний агентов системы. Онтология задает интеллектуальность когнитивного агента - чем точнее составлена онтология, чем более корректно обозначены связи, тем полнее агент представляет предметную область, для которой он существует. Созданная онтология реализована в терминах языка онтологического моделирования OWL (Web Ontology Language). Так как разработка агентов системы выполнялась на базе платформы JADE, то для обеспечения возможности агентов работы с предметными и прикладными онтологиями использовалась специальная

библиотека AgentOWL. Она обеспечивает создание и использование RDF/OWL онтологий в качестве моделей знаний агентов.

Созданная прикладная онтология региональной безопасности содержит 7 уровней таксономии и включает в себя более 500 классов, более 150 атрибутов, более 30 иерархических отношений, более 40 ассоциативных отношений, более 30 функциональных ограничений. Онтология имеет достаточную степень детализации, что обеспечивает целостное формальное описание разнородных кризисных ситуаций и связанных с ними задач управления безопасностью на всех этапах жизненного цикла угроз региональной безопасности и на всех уровнях принятия решений (стратегическом, тактическом и оперативном).

6) *Тренажерно-моделирующий комплекс «Виртуальный когнитивный центр»* для управления региональной безопасностью в кризисных ситуациях [59], реализованный в виде специализированного гибридного облака на базе сервисной архитектуры IaaS (Infrastructure as a service – инфраструктура как сервис) [117]. Комплекс обеспечивает распределенное эксперто-имитационное моделирование развития региональных кризисных ситуаций, синтез спецификаций взаимодействия и моделей координации субъектов управления для решения управленческих задач в различных сферах региональной экономики в целях обеспечения региональной безопасности.

7) *Профессиональная социальная сеть BarentsNet* [86] ([www.barents-online.net](http://www.barents-online.net)), представляющая собой виртуальную интеграционную площадку для взаимодействия субъектов управления безопасностью региона и обеспечивающая автоматизированный поиск субъектов совместной деятельности для реализации сценариев управления безопасностью. Веб-сервис BarentsNet является важной составной частью виртуального когнитивного центра управления региональной безопасностью в кризисных ситуациях.

Функциональные возможности ИАС РБ дополняют интегрированные в ее состав прикладные пакеты программ и инструментальные средства, созданные на основе предложенных в работе моделей, методов и технологий для конкретных приложений в области региональной безопасности, а именно:

- программная система информационного обеспечения кадровой безопасности региона [75, 113];

- программный комплекс автоматизации синтеза имитационных моделей сложных динамических систем [112];
- информационная система оценки экономических рисков сценариев развития моногорода [114];
- программная мультиагентная система информационно-аналитической поддержки инновационной деятельности [71, 126].

В совокупности, созданные практические разработки обеспечивают построение расширяемой многофункциональной виртуальной среды, образующей целостную информационную инфраструктуру безопасности региона на базе интеграции существующих и вновь создаваемых информационных ресурсов, а также средств автоматизированной обработки содержащихся в них данных.

Функциональная структура и базовые программные компоненты ИАС «Безопасный Виртуальный Регион» представлены на рисунке 4.7.

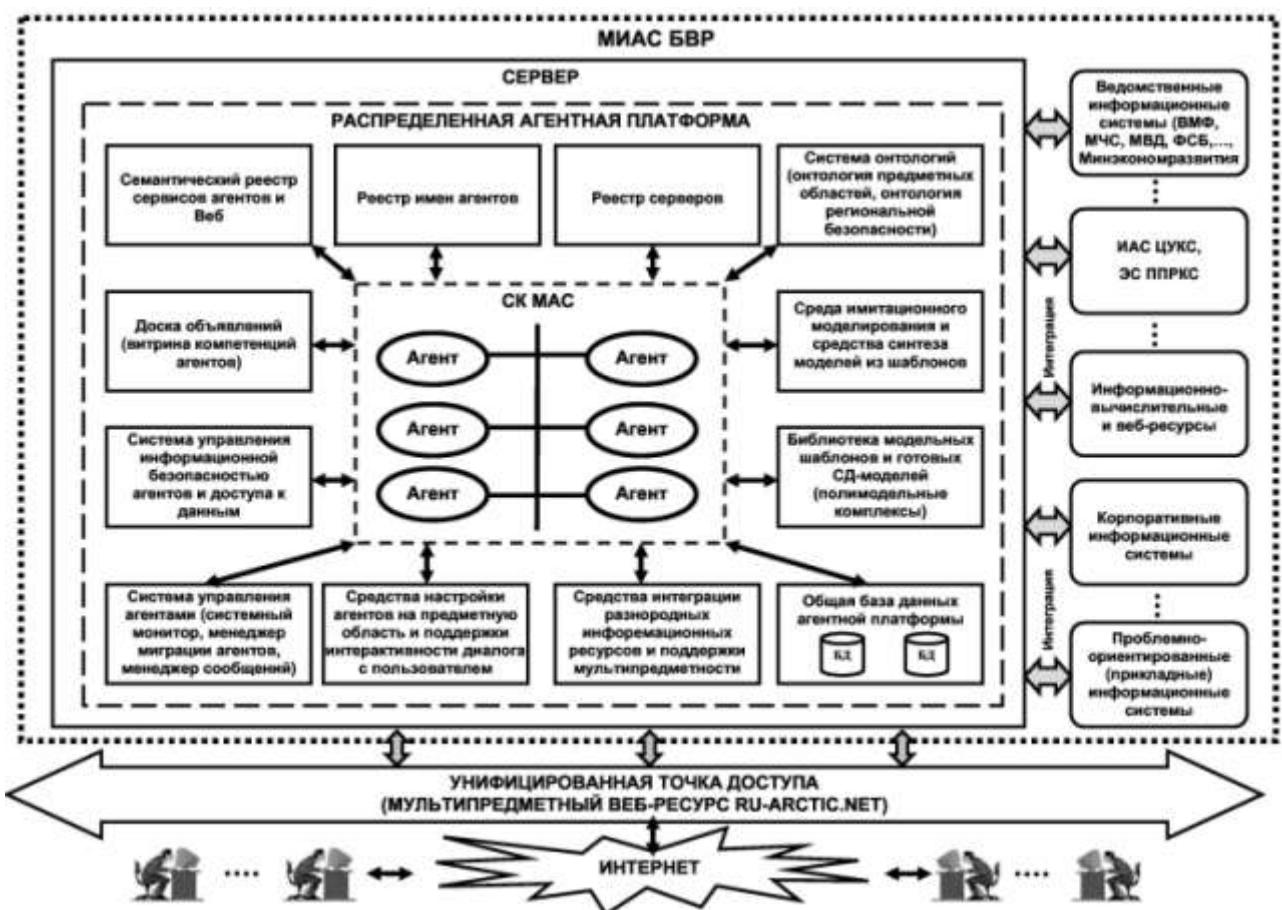


Рисунок 4.7 - Архитектура и функциональные компоненты ИАС РБ

Основное назначение ИАС РБ - удовлетворение информационных потребностей и обеспечение согласованного информационного взаимодействия

субъектов и организационных структур управления безопасностью посредством оперативного и своевременного предоставления необходимых информационных ресурсов (данных) и сервисов для решения задач управления и принятия решений на всех этапах жизненного цикла угроз региональной безопасности. Средством коммуникации субъектов безопасности с ИАС РБ и друг с другом являются их онлайновые автоматизированные рабочие места («личные кабинеты») и их виртуальные представители в ИАС РБ - программные агенты соответственно. Доступ к ресурсам ИАС РБ и виртуальное сотрудничество субъектов безопасности в единой информационной среде осуществляется через унифицированную точку доступа, реализованную в виде мультипредметного веб-портала RU-Arctic (рисунок 4.8).

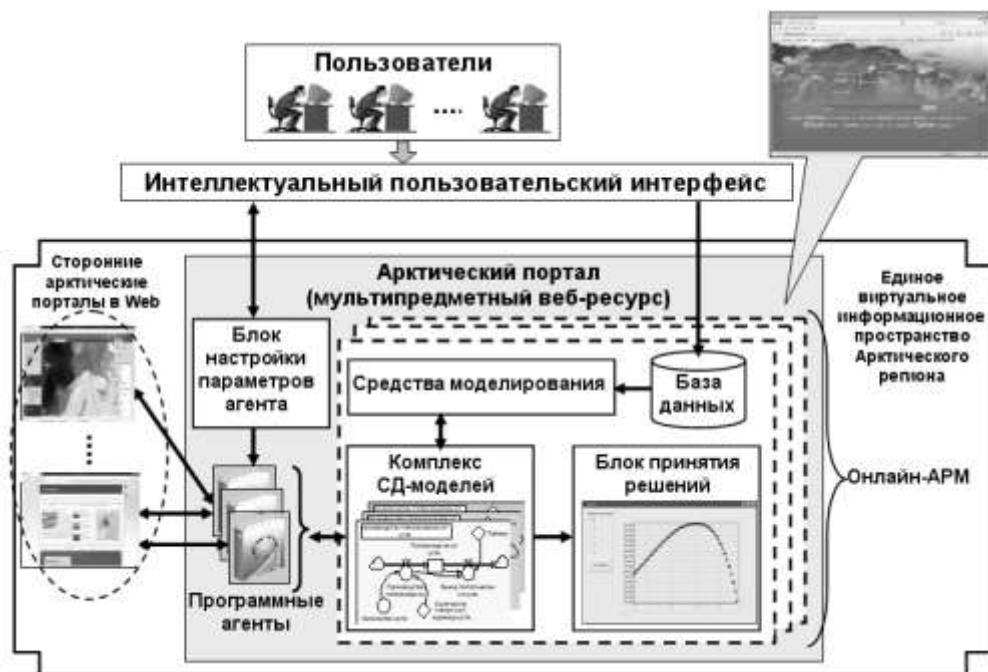


Рисунок 4.8 - Функциональная структура и компоненты системы RU-Arctic

Структура онлайновых автоматизированных рабочих мест («личных кабинетов») субъектов управления безопасностью включает в себя следующие базовые функциональные блоки:

- средства создания индивидуальных профилей;
- средства взаимодействия пользователей посредством электронной почты;
- средства создания тематических виртуальных сообществ - групп пользователей по интересам (открытого или закрытого типа);
- средства структурированного хранения и управления данными пользователей;

- средства разграничения прав доступа к информации и оперирование ею;
- средства обеспечения целостности и актуальности информации;
- средства проблемно-ориентированного информационного поиска (люди, группы, идеи, контакты, профили, проекты и т.д.);
- средства создания агентов и их конфигурирование, включая настройку параметров агентов на предметную область, постановку пользовательских задач (запросов) и т.п.

К специфическим функциям онлайновых автоматизированных рабочих мест пользователей относятся:

- предоставление специализированных интерфейсов для различных категорий пользователей и решаемых задач;
- предоставление средств оперативной обработки информации и прогнозирования с использованием средств компьютерного моделирования;
- предоставление инструментов поддержки принятия решений;
- возможность дистанционного формирования проблемно-ориентированных имитационных моделей и работы с ними, а также интеграция собственных моделей в единый полимодельный комплекс;
- визуализация информации с территориальной привязкой на основе интерактивных электронных карт;
- интеграция разнородных информационных ресурсов;
- семантическое агрегирование и анализ распределенных данных;
- формирование виртуальных организационных структур «под задачу».

Каждый субъект региональной безопасности имеет возможность создать в системе одного или нескольких программных агентов, которые представляют его компетенции в ИАС РБ. Для использования ИАС РБ субъектам управления региональной безопасностью требуется:

- 1) Завести себе узел в виртуальном пространстве региона.
- 2) Подключиться через унифицированную точку доступа к ИАС РБ, либо осуществить авторизованный вход через ведомственную информационную систему управления безопасностью, интегрированную в ИАС РБ.
- 3) Зарегистрировать себя и определить свой профиль (компетенции) для создания онлайнового АРМ, а также настроить необходимые опции своего агента.

#### 4) Активировать агента.

После этого следует ожидать результатов деятельности агента, который автоматически выполняет всю работу по сбору, проблемно-ориентированному поиску и анализу оперативной информации об обстановке на контролируемом объекте, оценке рисков возникновения потенциальных угроз безопасности объектов управления, подбору субъектов для совместного решения задач управления безопасностью, формированию виртуальных организационных структур управления безопасностью (коалиций агентов) и т.д.

В процессе работы ИАС РБ агент взаимодействует с субъектом безопасности – конечным пользователем, предоставляя на рассмотрение результаты своей деятельности или запрашивая уточняющую информацию о сформулированных пользователем задачах в случае поступления экстренной информации в систему, требующей оперативного реагирования, а также в случае изменения структуры или атрибутов ИАС РБ, или недостаточности информации о необходимых действиях, которые нужно предпринять. При этом пользователь может выбрать, как это будет происходить: интерактивно в стиле «вопрос-ответ» или в автоматическом режиме. В результате такого взаимодействия формируется система знаний о стратегиях управления безопасностью конкретных процессов и объектов как в стабильных, так и в критических ситуациях.

Разработанные сервис-ориентированная распределенная агентная платформа и проблемно-ориентированные тренажерно-моделирующие комплексы обеспечили технологическую основу для создания и использования самоорганизующихся и саморазвивающихся моделирующих систем на базе технологий автономных программных агентов, облачных и веб-сервисов. В рамках ИАС РБ это позволило оперативно осуществлять поиск и интеграцию средств моделирования для решения задач информационной поддержки управления региональной безопасностью. Реализация такого подхода расширяет возможности использования современного Интернет-пространства и способствует развитию нового направления в области конвергенции мультиагентных, облачных и семантических технологий – «Моделирующий Веб» («Modeling Web»).

Созданный комплекс программных средств использован для решения ряда практических задач в области информационного обеспечения экономической,

экологической, кадровой и инновационной безопасности Мурманской области. Практические разработки использованы при подготовке нормативных документов и рекомендаций по повышению эффективности управления безопасностью критически важных объектов, локализованных на территории Мурманской области. Использование разработок позволило автоматизировать и ускорить процесс выработки и реализации оперативных и стратегических управленческих решений по организации мероприятий, направленных на защиту, мониторинг и предупреждение чрезвычайных и кризисных ситуаций социально-экономического и природно-техногенного характера.

Средства информационно-аналитической поддержки, реализованные в рамках ИАС РБ, ориентированы на широкий круг потенциальных пользователей, к которым относятся профильные ведомства, ответственные за обеспечение различных видов безопасности, органы исполнительной власти регионального и муниципального уровней, заинтересованные государственные и коммерческие организации, системные аналитики и эксперты в области безопасности и устойчивого развития арктических регионов.

ИАС РБ обеспечивает решение следующих задач:

- обеспечение интеграции, согласования и анализа экспертных знаний для задач управления региональной безопасностью в разнородных кризисных ситуациях;
- обеспечение эффективной работы с информационными ресурсами и сервисами в распределенной информационной среде;
- обеспечение предоставления специализированных интерфейсов для различных категорий пользователей и решаемых задач;
- обеспечение совместного использования баз данных ведомственных информационных систем и координации информационного взаимодействия субъектов безопасности в распределенной информационной среде.
- регистрация и историзация данных о кризисных ситуациях, угрозах, объектах и процессах обеспечения безопасности компонентов региональных систем;
- информационный мониторинг и индикаторное оценивание показателей безопасности развития и функционирования элементов региональных систем;
- автоматизированный поиск субъектов совместной деятельности для решения задач управления региональной безопасностью в кризисных ситуациях;

- автоматизированное формирование ВОСБ в условиях кризисных ситуаций с учетом специфики решаемых задач, пространственно-временных и ресурсных ограничений, а также выбор эффективных ВОСБ;
- синтез траекторий управления безопасным региональным развитием на основе сценарного анализа внутренних и внешних угроз региональной безопасности.

Решение указанных задач создало ряд новых возможностей для субъектов регионального управления и структур безопасности:

- унифицированный доступ к ресурсам единого информационного пространства региональной безопасности для всех субъектов управления;
- возможность анализа и системного мониторинга внутренних и внешних угроз региональной безопасности;
- возможность формирования антикризисных сценариев управления безопасностью региона в условиях разнородных кризисных ситуаций;
- возможность получения и оперативной аналитической обработки информации по всем аспектам региональной безопасности и социально-экономического развития региональных систем;
- возможность установления сотрудничества с субъектами управления, обладающими ключевыми компетенциями для совместного решения задач обеспечения региональной безопасности;
- возможность учета информационных потребностей различных субъектов управления региональной безопасностью на всех уровнях принятия решений;
- возможность создания компьютерных тренажерно-моделирующих комплексов для интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в сфере региональной безопасности.

Практические разработки, реализующие ИАС РБ, обеспечивают адекватную информационную поддержку проблемно-ориентированной деятельности субъектов управления на всех этапах жизненного цикла угроз региональной безопасности. Это достигается за счет возможности гибкого совместного использования разнородных территориально-распределенных информационно-вычислительных ресурсов, единых принципов информационного взаимодействия и координации целенаправленного поведения субъектов управления безопасностью в рамках сетецентрической ИАС РБ.

Функциональные возможности ИАС РБ позволяют проиграть и оценить возможные варианты развития региональных кризисных ситуаций с учетом влияния внутренних и внешних факторов, что обеспечивает возможность синтеза эффективных сценариев управления региональной безопасностью в динамически изменяющихся условиях. Это расширяет спектр вариантов организации моделирования региональных кризисных ситуаций, что повышает информационную обеспеченность и обоснованность принятия управленческих решений.

#### **4.4. Мультипредметные веб-ориентированные системы информационного обеспечения региональной безопасности**

В настоящее время перспективным направлением исследований и разработок в области интеллектуальных систем поддержки принятия решений в сфере регионального управления является создание мультипредметных веб-ориентированных информационных систем [29], основанных на знаниях и направленных на решение задач информационно-аналитической поддержки управления региональным развитием. Эти системы находят широкое применение и в других предметных областях (промышленность, логистика, инновационная деятельность и т.д.).

Под *мультипредметной информационной системой* [169] понимается информационная система, предназначенная для эксплуатации пользователями разных категорий. Под категорией пользователя, в свою очередь, в данном контексте понимается некоторое множество субъектов использования информационной системы, характеризующихся близкими по структуре и содержанию ментальными моделями одной или более предметных областей. Как правило, такие системы строятся на базе когнитивных информационных технологий (мультиагентные технологии [186], технологии Семантического Веба [187] и другие).

Для повышения эффективности взаимодействия субъектов, участвующих в процессах управления инновационным и безопасным развитием арктических регионов, и удовлетворения их информационных потребностей в процессе выработки и реализации управленческих решений разработаны мультипредметные веб-ориентированные информационные системы – интегрированный Арктический Интернет-портал RU-Arctic и профессиональная социальная сеть BarentsNet. В

совокупности данные системы представляют собой виртуальную интеграционную площадку, объединяющую субъектов регионального управления, экспертов и заинтересованных представителей бизнес-сообщества для сотрудничества в области обеспечения безопасности и инновационного развития арктических регионов.

### *Интегрированный Арктический Интернет-портал RU-Arctic*

Мультипредметный веб-ресурс RU-Arctic ориентирован на удовлетворение информационных потребностей различных категорий пользователей в области социально-экономического развития Арктической зоны России. Актуальная информация о социально-экономической обстановке в арктических регионах крайне необходима как для принятия эффективных управленческих решений в сфере региональной безопасности, так и для формирования стратегии рискоустойчивого развития арктических территорий. Система RU-Arctic нацелена на оперирование согласованной текущей, ретроспективной и прогнозной информацией о социально-экономической системе территорий (структура экономики, демография, кадровый потенциал и др.) и природной среде (экологическая обстановка, природные ресурсы и т.д.) российской Арктики.

В технологическую основу портала RU-Arctic (рисунок 4.9) заложены современные информационные технологии обработки и анализа данных, методы поддержки принятия решений, проблемно-ориентированные модели и инструменты моделирования, образующие вкупе комплекс средств информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью в Арктической зоне России.

Система RU-Arctic расширяет функциональные возможности рассмотренных в первой главе диссертации систем-аналогов (Barentswatch, СОО в Арктике и др.) и учитывает пятое измерение при реализации проблемного мониторинга обстановки в Российской Арктике – социально-экономическую составляющую, стратегически значимую для обеспечения безопасности Евро-Арктического региона. Это позволяет получить качественно новые решения в области создания комплексной системы управления безопасностью арктических территорий во всех пяти измерениях – информационный мониторинг социально-экономической (на суше), морской (надводной и подводной), воздушной и радиоэлектронной обстановки в контролируемых районах, а также обстановки в космическом пространстве.



Рисунок 4.9 - Технологическая основа мультипредметной веб-ориентированной информационной системы RU-Arctic

Сравнительная характеристика целевого назначения и функциональных возможностей двух наиболее ярких систем-аналогов *RU-Arctic* и *BarentsWatch* представлена в таблицах 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1 - Сравнительная характеристика систем RU-Arctic и BarentsWatch (функциональный аспект)

Функциональные возможности	Система	BarentsWatch	RU-Arctic.net
Структурированное хранение информации, обеспечение ее целостности и актуальности	+	+	
Разграничение прав пользователей на доступ к информации и оперирование ею	+	+	
Предоставление специализированных интерфейсов для различных категорий пользователей и решаемых задач	-		+
Предоставление средств оперативной аналитической обработки информации и прогнозирования с использованием средств компьютерного моделирования	-		+
Визуализация информации с территориальной привязкой на основе интерактивных электронных карт	+		+
Интеграция разнородных информационных ресурсов о состоянии арктических территорий	+		+
Обработка спутниковых данных в реальном времени	+		-
Проблемно-ориентированный поиск и семантический анализ информации	-		+

Таблица 4.2 - Сравнительная характеристика систем RU-Arctic и BarentsWatch  
(целевая ориентация)

<b>Система</b>	<b>Открытый информационный портал BarentsWatch</b>	<b>Мультипредметный веб-ресурс RU-Arctic</b>
<b>Характеристика</b>		
Цель проекта (системы)	Установить национальную систему мониторинга, способную повысить уровень безопасности, качество и эффективность в отношении окружающей среды, безопасности и природопользования	Поддержка рискоустойчивого функционирования систем жизнеобеспечения и экономической деятельности в арктических регионах в целях обеспечения региональной безопасности
Назначение	Освещение экологической обстановки в Арктике	Освещение социально-экономической и экологической обстановки в арктических регионах
Цели создания	Открытая часть – гражданские Закрытая часть - военные	Открытая часть – гражданские Закрытая часть – доступ к проблемно-ориентированной информации, средствам ее обработки и анализа на коммерческой основе
Целевая аудитория пользователей	Эксперты в области защиты окружающей среды, морской навигации, метеорологии, нефтегазовой отрасли, освоения океанических ресурсов и т.п.	Органы исполнительной власти различного уровня, системные аналитики, заинтересованные предприятия и коммерческие структуры, гражданские лица, пограничники, СКЦ управления безопасностью и т.д.

### *Профессиональная социальная сеть BarentsNet*

Построение единой электронной социальной сети BarentsNet с целью создания виртуальной интеграционной площадки по сотрудничеству в сфере управления развитием арктических территорий является как одним из главных пунктов новой Киркинесской декларации [156], так и важным этапом на пути создания единого информационного пространства Арктической зоны России при реализации «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» [147].

Система BarentsNet является, по сути, надстройкой над рассмотренной выше системой RU-Arctic. При этом данные системы технически могут использоваться изолированно друг от друга.

В рамках системы BarentsNet реализованы средства интеграции формализованных на базе онтологий экспертных знаний о процессах и особенностях развития арктических и субарктических территорий и средства автоматизации установления профессиональных контактов на базе агентных технологий, что обеспечивает сокращение рутинных операций пользователей в процессе информационного поиска и подбора потенциальных партнеров для взаимодействия.

Структура онлайновых автоматизированных рабочих мест («личных кабинетов») пользователей системы BarentsNet включает в себя средства, реализующие как базовые функциональные блоки современных социальных сетей (Facebook, MySpace, Google+, ВКонтакте), так и специализированные программные компоненты, обеспечивающие в совокупности возможность получения, интеграции, обработки и анализа разноплановой информации, а также распределенный доступ к информационным ресурсам и веб-сервисам.

В системе BarentsNet предусмотрена реализация специфических функций. Речь идет о возможности использования средств оперативной аналитической обработки данных на базе компьютерного моделирования (проблемно-ориентированных имитационных моделей, синтезируемых из типовых модельных шаблонов), средств интеграции разнородных информационных ресурсов на базе онтологий, а также средств распределенного семантического поиска информации.

Разработанный прототип системы не имеет аналогов и является эффективным инструментом получения, интеграции, анализа и обработки информации, а также коллективных экспертных знаний, необходимых для решения конкретных задач управления и принятия решений в сфере информационного обеспечения инновационного развития и региональной безопасности в Арктической зоне России. Однако стоит отметить, что близким по технологической реализации решением без учета реализованного набора специальных функций и предметной ориентации (арктической специфики) является современная виртуальная сеть профессиональных контактов LinkedIn (<http://www.linkedin.com>) [160], имеющая сервис-ориентированную архитектуру и созданная на базе передовых веб-технологий с поддержкой облачных и веб-сервисов.

Базовые и специфические функции системы BarentsNet приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Средства, реализующие функционал системы BarentsNet

Базовый функционал социальных сетей	Специфические функции
средства создания индивидуальных профилей	средства создания виртуальных представителей – программных агентов и их конфигурирование, включая настройку параметров агентов на предметную область, постановку пользовательских задач (запросов) и т.п.
средства взаимодействия пользователей посредством внутренней почты, а также обмена инфоресурсами	предоставление специализированных интерфейсов для различных категорий пользователей и решаемых задач
средства создания тематических виртуальных сообществ - групп пользователей по интересам (открытого или закрытого типа)	предоставление средств оперативной обработки информации и прогнозирования с использованием средств компьютерного моделирования
средства проблемно-ориентированного информационного поиска (люди, группы, идеи, контакты, профили, проекты и т.д.)	предоставление инструментов поддержки принятия решений
средства управления данными пользователяй	возможность дистанционного формирования проблемно-ориентированных имитационных моделей и работы с ними, а также интеграция собственных моделей в единый полимодельный комплекс
средства разграничения прав пользователей на доступ к информации и оперирование ею	визуализация информации с территориальной привязкой на основе интерактивных электронных карт
средства структурированного хранения информации, обеспечения ее целостности и актуальности	интеграция разнородных информационных ресурсов и анализ контента

Мировой опыт создания и использования социальных сетей как инструмента информационной поддержки управления по принципу «мягкой силы 2.0», согласно исследованиям [28, 132, 197], показывает их высокую эффективность.

При создании мультипредметного веб-ресурса BarentsNet также использовались язык PHP, СУБД MySQL и технология Ajax. В качестве программного обеспечения, позволяющего управлять содержимым и структурой веб-сайта, использована CMS-система LiveStreet.

Функционал системы BarentsNet может быть расширен за счет реализации в ней модели G2B (government-to-business). G2B – это бизнес-модель информационного и экономического взаимодействия между государственной исполнительной властью (государством) и коммерческими структурами (бизнесом) посредством современных инфокоммуникационных технологий. Целью такого взаимодействия является

поддержка и развитие бизнеса. Таким образом, использование основанной на модели G2B профессиональной социальной сети BarentsNet будет способствовать развитию частного государственного партнерства в арктических регионах. Это позволит в перспективе достичь качественно нового уровня развития региональной экономики и инновационного сотрудничества в Евро-Арктическом регионе. Девиз системы BarentsNet - реализация концепции «от контактов к контрактам».

#### **4.5. Структура и состав виртуальных когнитивных центров управления региональной безопасностью**

В настоящее время решение задач проблемного мониторинга и управления развитием социально-экономических и организационно-технических систем осуществляется преимущественно на основе ситуационно-кризисных и когнитивных центров. Информационное сопровождение функционирования этих центров, согласно исследованиям [41, 46], обеспечивается за счет применения интеллектуальных информационно-аналитических систем. Сами по себе ситуационно-кризисные и когнитивные центры не реализуют единую систему организационного управления безопасностью региона и не обеспечивают возможность формирования целостной информационной среды региональной безопасности. Для развития современных подходов к информационно-аналитическому обеспечению ситуационно-кризисных и когнитивных центров в работе предложена технология построения и организации функционирования многоуровневой системы сетецентрического управления региональной безопасностью на базе сети виртуальных когнитивных центров (ВКЦ) [59] с учетом необходимости интеграции, обработки и анализа большого объема разноплановой информации, в том числе поступающей в режиме реального времени.

Новый подход заключается в формировании сети ВКЦ для информационной поддержки управления региональной безопасностью и основан на реализации моделей неявного управления развитием региональных социально-экономических систем через создание адаптивной интеллектуальной среды поддержки регионального управления в рамках виртуального пространства региона. ВКЦ представляет собой тренажерно-моделирующий комплекс, предназначенный для интеллектуальной поддержки принятия решений в сфере управления рискоустойчивым развитием региона в чрезвычайных и кризисных ситуациях. Основными задачами ВКЦ

являются: моделирование и прогнозирование, стратегическое планирование развития региональных социально-экономических систем, синтез спецификаций взаимодействия и моделей координации субъектов управления для решения управлеченческих задач в различных предметных областях, в том числе и в сфере региональной безопасности. ВКЦ может рассматриваться как инструмент комплексной информационно-аналитической поддержки управления регионом.

В качестве технологической основы для создания ВКЦ предложено использовать мультиагентные, облачные и веб-технологии, а также средства их интеграции, что обеспечивает возможность комплексной информационно-аналитической поддержки принятия управлеченческих решений в кризисных ситуациях на оперативном, тактическом и стратегическом уровнях на базе виртуализации и адаптивного моделирования проблемно-ориентированной деятельности субъектов регионального управления. Позиционирование ВКЦ как гибридного облачного решения делает его инструментарий доступным не только субъектам управления различного уровня и экспертам, но и всем заинтересованным государственным и некоммерческим организациям, использующим в своей практической деятельности Интернет-технологии и средства телекоммуникаций.

В ходе исследований была проведена серия экспериментов по программной реализации исследовательского прототипа ВКЦ в виде гибридного облака, построенного на базе сервисной архитектуры IaaS (Infrastructure as a service – инфраструктура как сервис). Для этого инсталлировано и использовано следующее специальное программное обеспечение: гипервизор (монитор виртуальных машин) Microsoft Hyper-V Server, облачная платформа OpenNebula, веб-сервер Apache, СУБД MySQL, операционная система Ubuntu 12.04 LTS, управляющее ядро и компоненты распределенной агентной платформы для исполнения и поддержки функционирования мобильных программных агентов (включая JADE-компоненты), а также специализированные веб-сервисы: OpenMeetings, GeoServer, FreeBase, Redmine, Ushahidi, Sage и другие, используемые для оперативной аналитической обработки распределенных данных с территориальной привязкой, интеграции разнородных информационных ресурсов и обеспечения коллективной работы пользователей в сети Интернет. Интеграция сервисов агентов, облачных и веб-сервисов в рамках ВКЦ позволяет субъектам управления региональной безопасностью использовать

современные когнитивные информационные технологии и инструменты моделирования для выработки согласованных стратегий и принятия управленческих решений в кризисных ситуациях в условиях неопределенности и риска. Структура и схема работы ВКЦ как гибридного облачного сервиса приведена на рисунке 4.10.

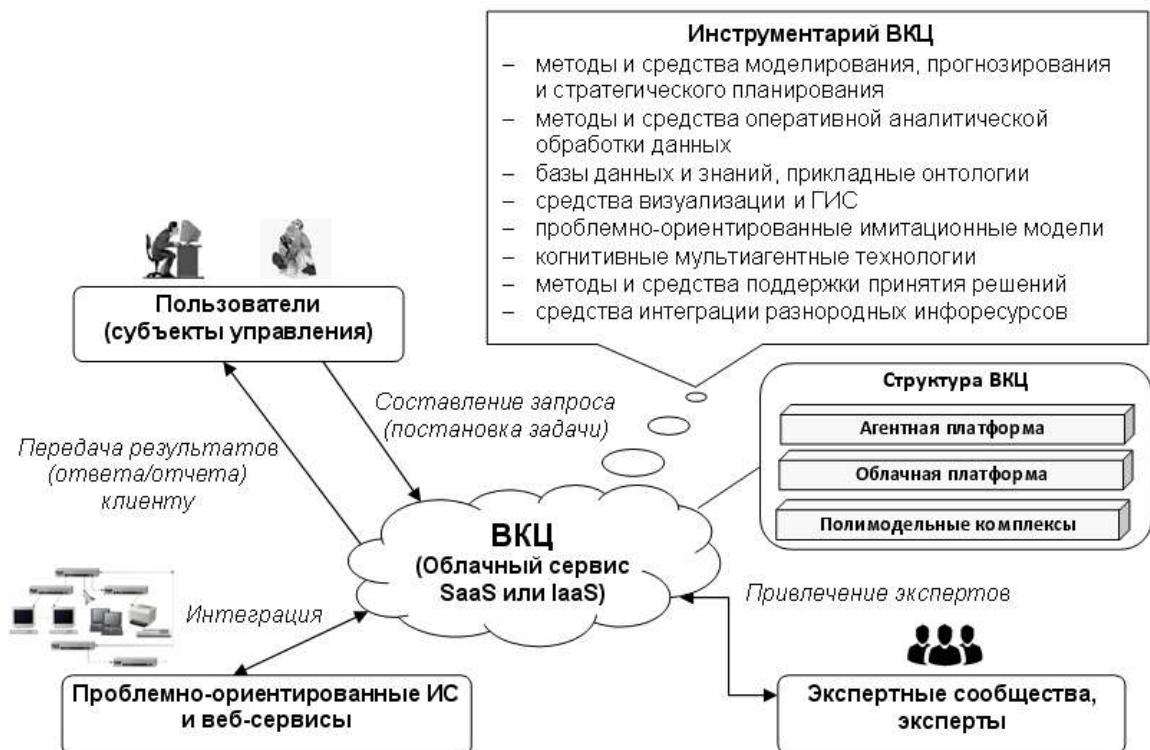


Рисунок 4.10 - Структура и схема работы ВКЦ на базе облачных технологий

Обозначения на рисунке 4.10: ВКЦ – виртуальный когнитивный центр; ГИС – геоинформационные системы; ИС – информационные системы; SaaS – Software as a Service (модель обслуживания по принципу программное обеспечение как сервис); IaaS – Infrastructure as a Service (модель обслуживания по принципу инфраструктура как сервис)

Основной инструментарий ВКЦ включает средства оперативного, разностороннего анализа текущих бизнес- и социально-экономических процессов, а также средства оперативного прогнозирования и стратегического планирования социально-экономического развития для задач информационной поддержки управления региональными системами в слабоструктурированных кризисных ситуациях. Кроме того, в состав основного инструментария ВКЦ входят технологии поддержки коллективной работы экспертов в режиме реального времени при оказании информационных услуг субъектам регионального управления и бизнес-

структурам различных отраслей и сфер деятельности, связанных с предоставлением средств оперативной аналитической обработки и проблемно-ориентированного поиска информации для поддержки принятия управленческих решений по преодолению кризисных и экстремальных ситуаций.

Используемый инструментарий обеспечивает решение комплекса задач формализации, интеграции, согласования, обработки, анализа и интерактивной визуализации коллективных экспертных знаний для информационной поддержки принятия управленческих решений в сфере региональной безопасности, а также моделирование поведения субъектов управления в условиях кризисных ситуаций.

Экспериментальной площадкой для развертывания сети ВКЦ на территории Арктической зоны РФ является информационно-коммуникационная инфраструктура действующих и создаваемых в арктических регионах ситуационно-кризисных центров, например, таких как Единая национальная диспетчерская служба Арктики (г. Архангельск), Центр исследований и обеспечения безопасности в Арктике (г. Мурманск), региональные центры управления в кризисных ситуациях МЧС России. Объединение потенциала этих центров посредством формирования сети ВКЦ позволит построить комплексную систему управления региональной безопасностью и обеспечит ее адаптивность и координацию в условиях децентрализованного управления безопасностью критически важных объектов региональной экономики.

Исследования показали, что лимитирующими факторами, влияющими на внедрение ВКЦ в практическую деятельность субъектов управления безопасностью, являются несовершенство нормативно-правовой базы и, как следствие, сложность позиционирования ВКЦ в структуре государственного управления, как на региональном, так и федеральном уровнях.

## **Выводы**

В четвертой главе работы получены следующие основные результаты:

1. Разработана многоуровневая информационно-технологическая модель (архитектура) сетевоцентрической виртуальной среды региональной безопасности, построенная на базе технологий одноранговых мультиагентных распределенных систем и средств семантической интеграции разнородных информационных ресурсов и сервисов. Это обеспечило совмещение свойств открытости, расширяемости, про-

активности, способности к самоорганизации информационной среды региональной безопасности, а также автономности и интероперабельности интегрируемых в рамках среды компонентов региональных информационных систем.

2. Созданная агентная платформа и инструментальные средства, реализующие виртуальную среду региональной безопасности, обеспечивают децентрализованную автоматизированную обработку и интеграцию семантически разнородных данных на всех уровнях управления безопасностью региона для информационной поддержки принятия управленческих решений. Разработки обеспечивают также возможность интеграции компонентов этой среды в региональное информационное пространство.

3. Мультиагентная виртуальная среда для информационной поддержки сетевентрического управления региональной безопасностью представляет собой распределенную систему автономных программных агентов, информационных ресурсов и веб-сервисов, а также специального программного обеспечения, поддерживающего совместное использование элементов этой системы в единой информационной среде. Для поддержки функционирования такой среды в условиях децентрализованного управления и высокой динамики внешнего окружения разработана технология динамического формирования и конфигурирования виртуальных сетей ресурсов с выделенными организационными центрами управления безопасностью региона. Такая технология обеспечивает сокращение времени на сбор и обработку актуальной информации для поддержки принятия решений на всех уровнях управления безопасностью региона.

Полученные результаты позволяют перейти к заключительному этапу диссертационного исследования - приложению и оценке эффективности предложенных методических и технологических разработок, реализованных в виде комплекса программных средств, для решения практических задач информационной поддержки управления региональной безопасностью.

## **ГЛАВА 5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

В заключительной главе диссертационной работы рассматриваются результаты практического использования разработанных моделей, методов и программных средств для информационной поддержки управления региональной безопасностью Мурманской области. Разработки нашли применение в практической деятельности организаций, профиль деятельности которых связан с обеспечением региональной безопасности, как на территории Мурманской области, так и за ее пределами.

Приложения разработок представлены в едином контексте формирования, конфигурирования и координации взаимодействия виртуальных организационных структур управления региональной безопасностью на задачах и сценариях из области экономической, экологической, инновационной и кадровой безопасности, актуальных и важных для Мурманской области. К этому кругу задач относятся:

- в области обеспечения экономической безопасности региона - задачи координации и синтеза сценариев управления безопасностью развития моногородов Мурманской области, оценки экономических рисков развития этих территориальных образований;
- в области обеспечения инновационной и социальной безопасности региона - задачи определения участников государственно-частного партнерства и формирования эффективных инновационных структур для реализации социально значимых инвестиционных проектов в данном арктическом регионе;
- в области обеспечения кадровой безопасности региональной экономики - задачи определения кадровых потребностей региона и моделирования логистики образовательных услуг в условиях вариативности кадрового заказа с целью синтеза стратегий развития регионального рынка труда;
- в области обеспечения экологической безопасности региона - задачи мониторинга показателей экологической и транспортной безопасности арктических коммуникаций, а также координации деятельности сил и средств, участвующих в ликвидации чрезвычайных ситуаций на акваториях Северного морского пути (СМП).

## **5.1. Оценка экономической безопасности развития моногородов арктических регионов России**

Арктические регионы России – это, прежде всего, районы добычи и первичной переработки сырьевых ресурсов. В настоящее время Арктическая зона Российской Федерации (АЗ РФ) является главным и определяющим поставщиком сырьевых ресурсов, как для внутренних потребностей России, так и на экспорт.

Типичным примером промышленного арктического региона России является Мурманская область, процесс индустриализации которой начался еще в 30-х годах XX века. В процессе индустриализации создавались промышленные предприятия, вокруг которых строились новые города. Основная составляющая социальной инфраструктуры промышленных регионов АЗ РФ – одно (или два) крупных предприятия и рядом с ними город с населением численностью 20-70 тысяч человек.

На современном этапе развития экономики растут требования к рациональному обоснованию управленческих решений, влияющих на различные аспекты функционирования социально-экономических систем. Моногорода являются самостоятельными пространственно-распределенными социально-экономическими образованиями региональной системы и обладают собственной спецификой. Устойчивое развитие моногородов непосредственным образом влияет на уровень региональной безопасности. Поэтому координация децентрализованного управления безопасностью развития моногородов обеспечивает повышение эффективности управления региональной безопасностью.

Согласно исследованиям [24, 115], перед моногородом встают два основных и принципиально различных вариантов развития. Первый – инерционный, предполагающий движение по уже определившейся ранее траектории, диктуемой сложившейся специализацией. Уровень экономической безопасности развития моногорода во многом зависит от эффективности функционирования градообразующего предприятия, представляющего отрасль специализации и оказывающего существенное влияние на развитие связанного с ним комплекса инфраструктурных отраслей. Риск заключается в том, что при возникновении кризисной ситуации на предприятии город с его населением становятся «заложниками» данного кризиса. Поэтому важен и другой вариант – перевод моногорода на принципиально иную траекторию развития, основу которой составляет

комплексное развитие территории, основанной на сбалансированной системе сфер деятельности людей. Изменение состава экономики моногорода будет означать преодоление сложившихся диспропорций в структуре производственной и непроизводственной сфер, изменения содержания экономики города и его экономического потенциала. Здесь необходимо проведение политики активной диверсификации.

Моногород, как сложная социально-экономическая система, характеризуется неоднородной структурой, множественными причинно-следственными связями, в том числе большим числом обратных связей, как положительных, так и отрицательных. Причем многие характеристики системы являются пространственно-зависимыми. Экспериментальные воздействия на такие системы нежелательны по многим причинам, в первую очередь из-за высоких экономических и социальных рисков. Поэтому основным методом исследования и прогнозирования поведения таких систем служит имитационное моделирование. Одним из эффективных методов имитационного моделирования является системная динамика.

На основе созданного в ходе диссертационного исследования комплекса программ и проблемно-ориентированных имитационных моделей разработана программная мультиагентная система оценки экономической безопасности развития моногорода [114]. Система обеспечивает информационную поддержку принятия управленческих решений в сфере государственного и муниципального управления, предполагающую построение и анализ сценариев развития моногорода, расчет и прогнозирование показателей экономического риска для различных сценариев развития моногорода на основе имитационного моделирования.

Технологической основой (ядром) системы являются имитационная модель развития моногорода, которая воспроизводит поведение реальной городской системы, и программные агенты, которые осуществляют мониторинг показателей безопасности развития моногорода и оценивают экономические риски при различных сценариях его развития на основе имитационной модели. Входными параметрами являются: коэффициент налогов, уровень субсидии, арендная плата. Эти данные находятся в компетенции местных органов власти.

Программная реализация системы имеет модульную структуру, что обеспечивает удобство и легкость редактирования и доработки отдельных модулей

под конкретные задачи в зависимости от выбираемых управляющих параметров социально-экономической среды, а также добавление новых программных компонентов, не влияющее на работоспособность остальных, и гибкость в расширении функциональных возможностей системы.

Система обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- 1) организация интерактивного диалога с пользователем в стиле «запрос - ответ» с применением автономных программных агентов;
- 2) построение сценариев развития моногорода;
- 3) определение значений экономического риска для различных сценариев развития моногорода на основе имитационного моделирования;
- 4) формирование отчетов.

В состав программной системы входят следующие функциональные компоненты (рисунок 5.1):

- блок пользователяского интерфейса;
- блок настройки параметров;
- блок решения;
- блок представления результатов;
- база данных;
- множество программных агентов, имитирующих работу муниципальных ситуационно-кризисных центров управления моногородом в виртуальной среде региональной безопасности;
- системно-динамическая модель развития моногорода (рисунок 5.2).

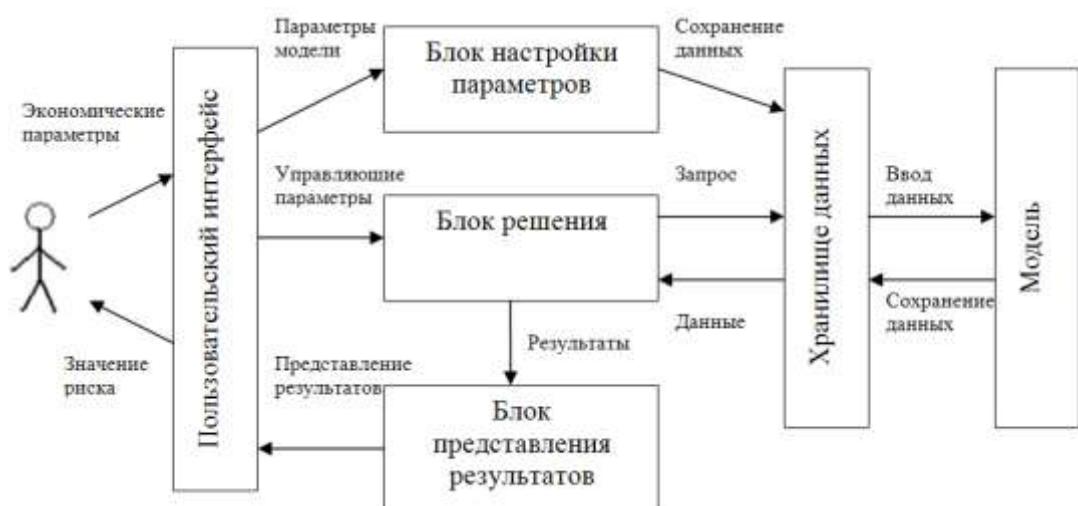


Рисунок 5.1 - Архитектура программной системы

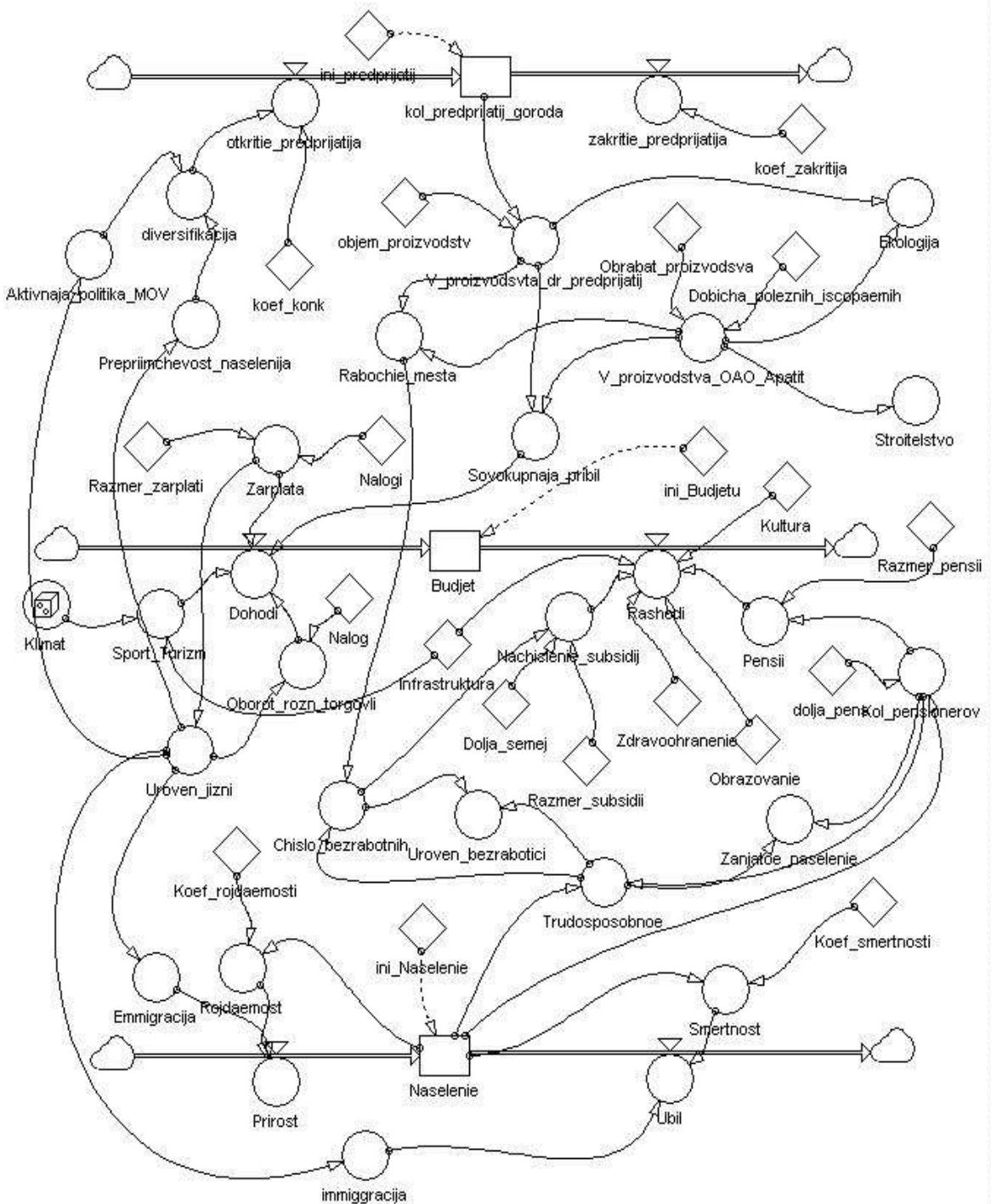


Рисунок 5.2 - Имитационная модель развития моногорода

Блок пользовательского интерфейса обеспечивает «дружественное» интерактивное взаимодействие пользователя с системой. Функции пользовательского интерфейса используются на всех этапах работы программной системы, связанных с обменом информацией между компьютером и пользователем.

Блок настройки параметров обеспечивает обновление значений параметров модели через хранилище данных.

Блок решения задач обеспечивает на основе введенных управляющих параметров пользователем и данных, импортированных из модели через запрос к хранилищу данных, вычисление значений показателей риска и передачу полученных оценок в блок представления результатов.

Блок представления результатов решения задач используется для приведения полученных в процессе решения поставленной задачи результатов в удобной и понятной для восприятия пользователем форме.

Блок представления результатов позволяет отобразить полученные результаты графически и таблично.

База данных позволяет приложению обмениваться данными с моделью.

Модель имитирует основные процессы развития города и сохраняет расчёты в хранилище данных.

Основные экранные формы разработанной программной системы оценки экономических рисков развития моногорода представлены на рисунках 5.3 - 5.6.

Параметры, используемые в системе, разделены на следующие категории: предприятия, бюджет, население (рисунок 5.3). Пользователь может их изменять.

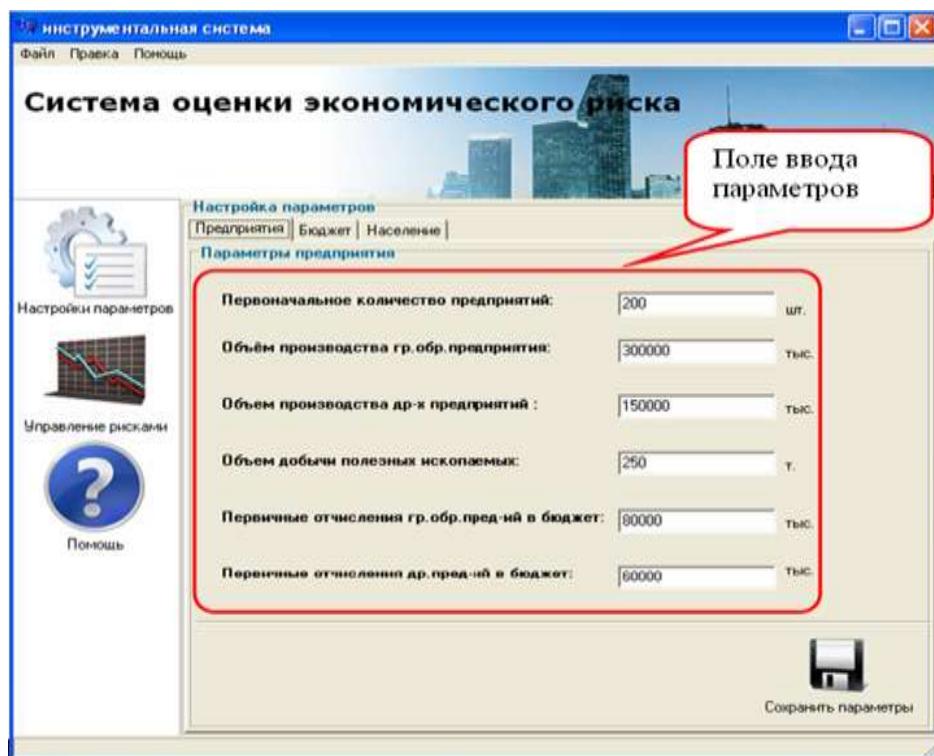


Рисунок 5.3 - Импорт данных в приложение и определение управляющих параметров

Пояснения к цветовым обозначениям на графиках, представленных на рисунках 5.4 и 5.6, приведено в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Степень опасности кризисной ситуации

Эмпирическая шкала уровня риска		
Обозначение	Величина риска	Градация риска
	0,0 – 0,1	малый
	0,1 – 0,3	средний
	0,3 – 0,6	высокий
	0,6 – 0,8	критический
	0,8 – 1	катастрофический

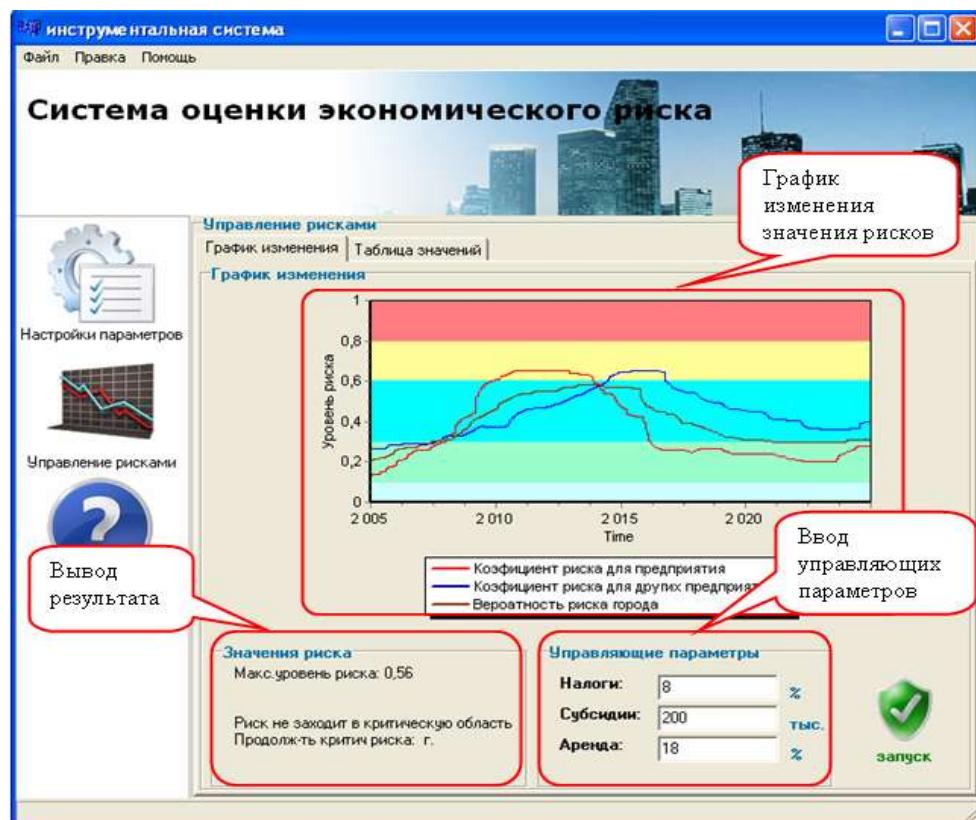


Рисунок 5.4 - Анализ и изменение уровня экономических рисков

Разработанное программное обеспечение нашло приложение в задачах оценки экономической безопасности развития моногородов Мурманской области: г.Кировска (градообразующее предприятие ОАО «Апатит»), г.Мончегорска (градообразующее предприятие ОАО «Кольская горно-металлургическая компания»), г.Оленегорска (градообразующее предприятие ОАО «Оленегорский горно-обогатительный комбинат»), г.Заполярного (градообразующее предприятие ОАО «Кольская горно-металлургическая компания»), г.Снежногорска (градообразующее предприятие Судоремонтный завод «Нерпа»).

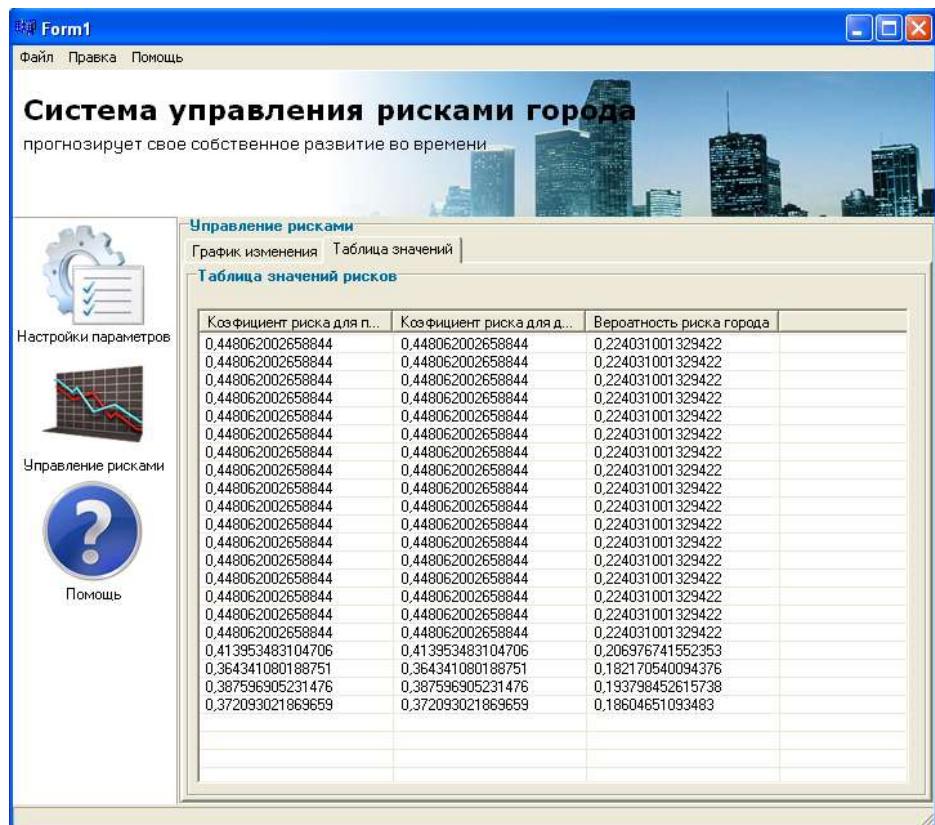


Рисунок 5.5 - Табличное представление результирующих значений оценок показателей экономического риска

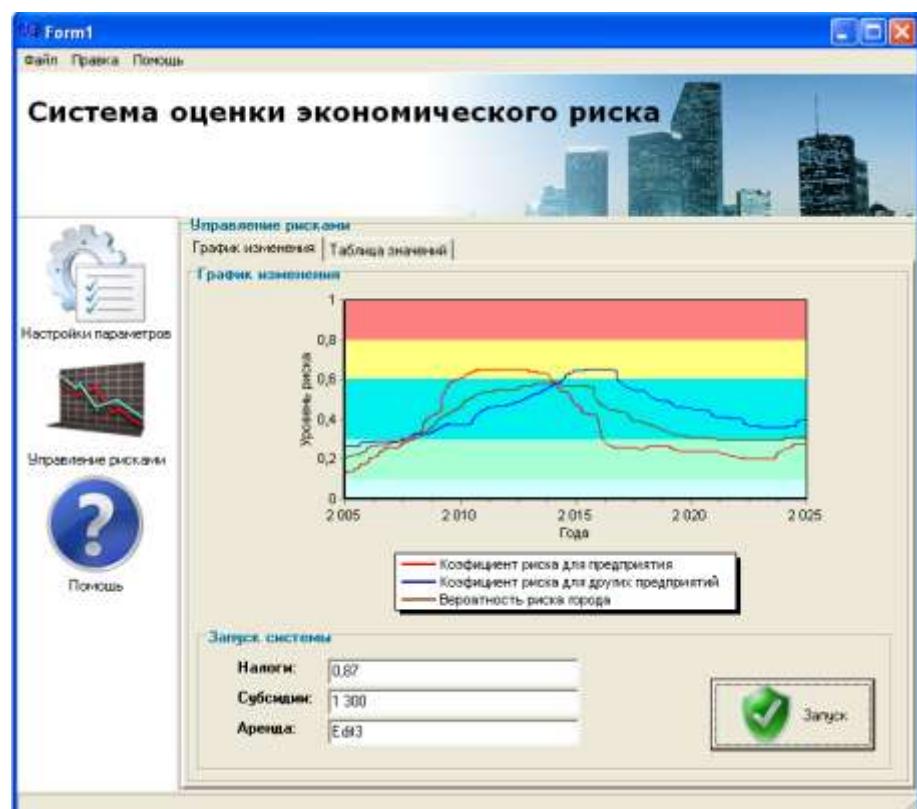


Рисунок 5.6 - Графическое представление изменения уровня показателей экономического риска сценариев развития моногорода

Так, для типичного представителя моногорода – г.Кировска, в котором расположен крупнейший горнoprомышленный комплекс Заполярья ОАО «Апатит», на основе созданного комплекса моделей и программ исследованы два сценария развития города в условиях кризисной ситуации на градообразующем предприятии.

Для моногорода характерна развитая хозяйственная структура градообразующего предприятия и слабовыраженная структура активов других хозяйствующих субъектов. По экспертным оценкам доля основных производственных фондов ОАО «Апатит» составляет 95% в суммарных активах всей хозяйственной структуры города Кировска.

Для г.Кировска специфики добавляет также наметившаяся тенденция к уменьшению числа предприятий, что является характерным признаком для моногорода, где развитие получает в основном только градообразующее предприятие, в то время как в среднем по региону количество предприятий и организаций растет.

Основой динамической модели г.Кировска является социально-экономический потенциал, состоящий из трех компонентов: в качестве характеристики социального благополучия принят социальный потенциал – численность населения города; в качестве характеристики экономической сферы принят производственный потенциал, включающий объем производства градообразующего предприятия и «других» предприятий города; в качестве характеристики ресурсного самообеспечения принят финансово-экономический потенциал – городской бюджет. Модель реализована на статистических данных от 2001 г. [133], ввиду того, что на ОАО «Апатит» в 2003 г. принят закон о коммерческой тайне, запрещающий публикацию статистических данных по предприятию в открытой печати. Модель позволяет путем многократной имитации оценивать экономический и связанный с ним социальный риски различных сценариев развития моногорода.

На модели для градообразующего предприятия симулирована кризисная ситуация, близкая к банкротству - падение объема производства на 10% в год. На графике (рисунок 5.7) представлен объем производства градообразующего предприятия. Зададим падение с 2002 года. Объем производства падает не линейно, а в виде затухающих колебаний вследствие задержек в цепях обратной связи.

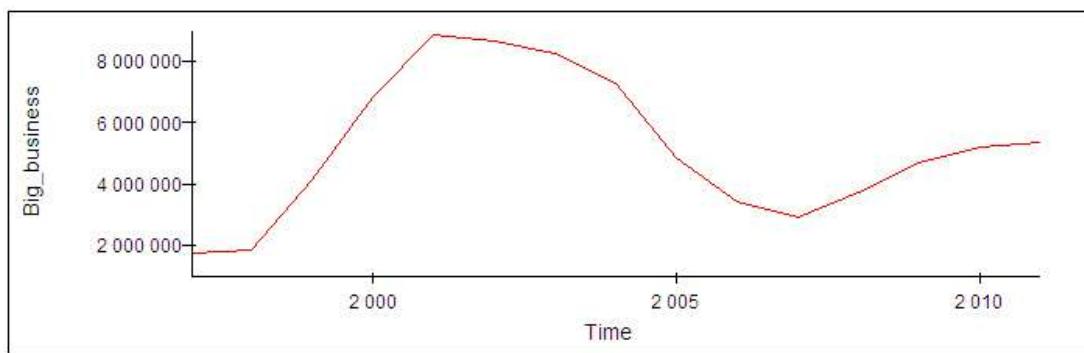


Рисунок 5.7 - Объем производства градообразующего предприятия

Первый сценарий – инерционный (экономическая структура города не изменяется). На рисунках 5.8 - 5.11 данному сценарию соответствует кривая «1».

Падение производства градообразующего предприятия обусловит такое же по форме кривой (рисунок 5.8) уменьшение городского бюджета.

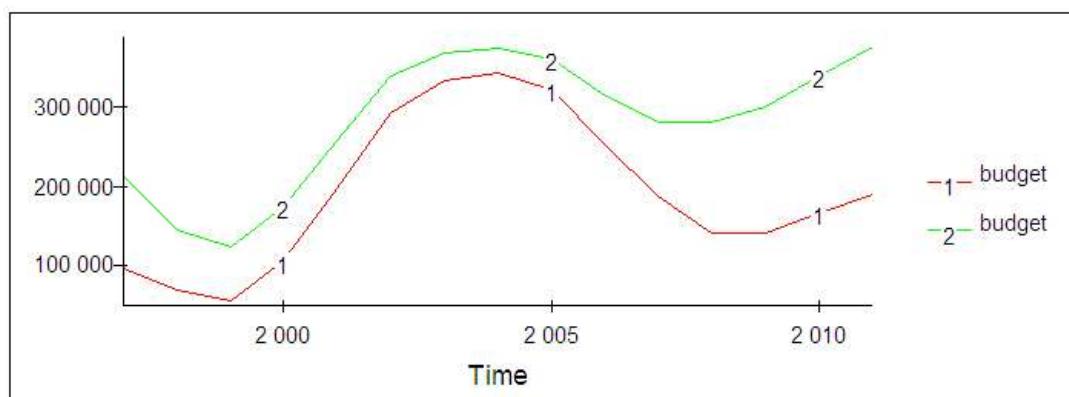


Рисунок 5.8 - Городской бюджет

Уменьшение городского бюджета обусловит аналогичное по форме кривой (рисунок 5.9) снижение уровня жизни жителей города.

Объем производства «других» предприятий города при незначительном росте будет оставаться существенно ниже объема производства градообразующего предприятия даже в условиях кризиса (рисунок 5.10).

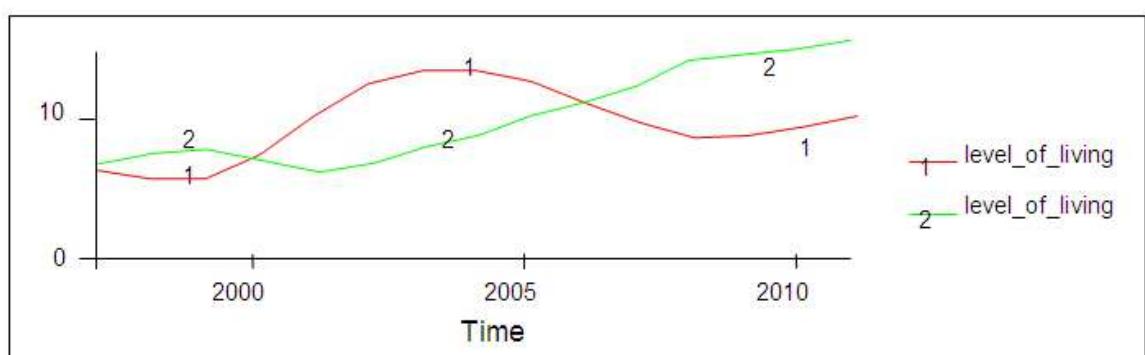


Рисунок 5.9 - Уровень жизни жителей города

Коэффициент диверсификации будет оставаться низким, несмотря на некоторое его увеличение, вызванное снижением объема производства градообразующего предприятия (рисунок 5.11).

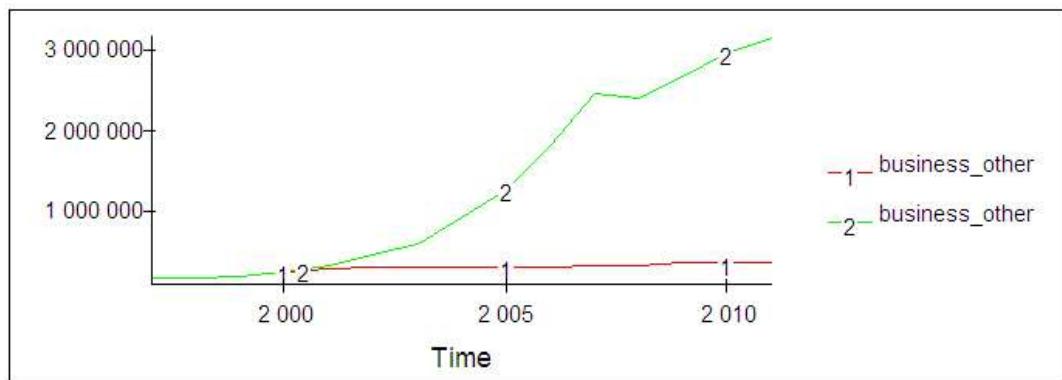


Рисунок 5.10 - Объем производства «других» предприятий города

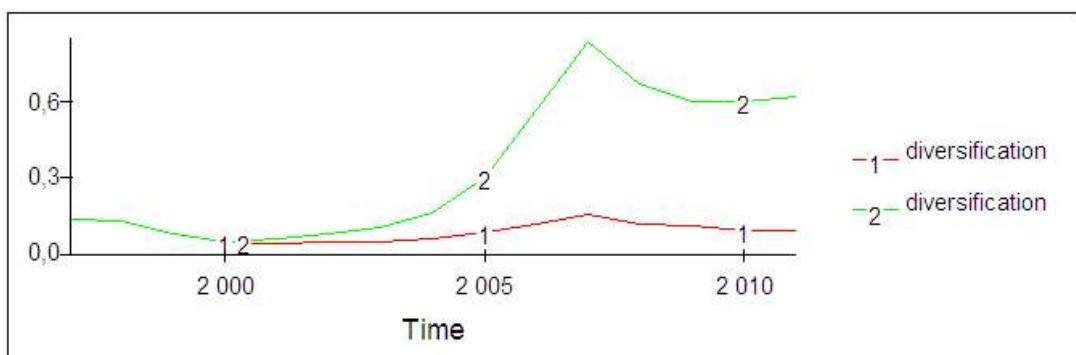


Рисунок 5.11 - Коэффициент диверсификации

Второй сценарий – диверсификационный (кривая «2») также заключается в симуляции для градообразующего предприятия кризисной ситуации, близкой к банкротству, но при этом реализуется на модели проведение органами местного самоуправления политики диверсификации хозяйственной структуры города. Объем производства градообразующего предприятия так же, как и в первом сценарии, падает на 10% в год (рисунок 5.7). С началом падения объема производства градообразующего предприятия органы местного самоуправления начинают проводить политику диверсификации, в данном случае это создание новых предприятий разной отраслевой направленности. Это ведет к росту объема производства «других» предприятий города, и к моменту кризиса градообразующего предприятия данный объем производства уже сравним с объемом производства градообразующего предприятия (рисунок 5.10).

Бюджет города, тем не менее, как и в первом сценарии снижается при снижении объема производства градообразующего предприятия (рисунок 5.8). Это

связано с тем, что вновь открывающиеся предприятия несут больше совокупных и трансакционных издержек, чем «старые» предприятия, пока не достигнут назначенной производительности. Поэтому, с повышением объемов производства других предприятий, неоднозначно повышение общей прибыли. Следовательно, нет достаточных доходов в бюджет города, чтобы говорить о независимости бюджета от градообразующего предприятия. Снижение городского бюджета в данном случае не такое существенное, как в первом сценарии, и уровень жизни жителей города снижается также несущественно (рисунок 5.8).

Несмотря на некоторые колебания уровня жизни населения, город с диверсифицированной экономикой становится более привлекательным для иммигрантов, что обуславливает существенный рост населения города, то есть экономическое развитие города становится более безопасным (устойчивым).

Таким образом, диверсификация уменьшает зависимость моногородов от ресурсных отраслей и повышает степень безопасности города при изменении экономических и политических условий.

Формализация понятия «диверсификация» предложена в работе [26].

Введение коэффициента диверсификации в созданную имитационную модель городской системы позволяет обеспечить моделируемую систему еще одним критерием оценки – в модели появляется показатель, отражающий степень разнообразия экономической структуры города. Обязательные условия, в рамках которых работает коэффициент диверсификации:

- 1) наличие в городе крупного предприятия;
- 2) все предприятия из числа «других» должны быть организационно независимыми друг от друга;
- 3) к расчету должно быть принято не менее двух предприятий из числа «других», производящих сколько-нибудь продукции (услуг).

Коэффициент диверсификации служит косвенным показателем оценки экономической безопасности развития моногорода.

Одним из эффективных способов активной диверсификации, обеспечивающей повышение уровня безопасности развития моногорода, является создание новых бизнес-структур и привлечение инвестиций. Для реализации такого подхода к обеспечению безопасности монопрофильных городов нашел применение

разработанный в ходе исследования метод синтеза виртуальных организационных структур управления безопасностью. Метод обеспечил основу для формирования в рамках информационной среды региональной безопасности потенциально эффективных инновационных бизнес-структур и сети виртуальных предприятий, ориентированных на реализацию экономически привлекательных инвестиционных проектов.

Таким образом, синтез и анализ сценариев управления экономической безопасностью развития моногородов Мурманской области на основе предложенных в работе моделей, методов и программных средств обеспечили возможность формирования комплексных инвестиционных планов развития этих социально-экономических систем. Планы содержат рекомендации по реализации антикризисных мероприятий, направленных на снижение экономического и связанного с ним социального и экологического рисков развития моногородов, как системообразующих элементов региона.

Использование разработанного программного обеспечения в сочетании с предложенными моделями сетецентрического управления в составе региональных ситуационно-кризисных центров обеспечивает информационную поддержку и координацию процессов принятия управленческих решений в сфере обеспечения безопасности развития моногородов и, как следствие, способствует повышению качества принимаемых решений на всех уровнях управления региональной безопасностью. При этом повышение эффективности управления региональной безопасностью достигается не только за счет средств автоматизации сбора и оперативной аналитической обработки необходимой информации для поддержки принятия решений, но и за счет совмещения этапов децентрализованного синтеза сценариев управления экономическим риском развития моногорода на основе имитационного моделирования и согласования локальных решений сетецентрического управления процессом оптимизации соответствующих показателей безопасности на основе разработанной многоуровневой рекуррентной модели и принципов координации иерархических многоуровневых систем.

Для моделирования процессов координации принятия решений в рассмотренном выше примере имитации кризисной ситуации, связанной с сокращением объемов производства на нескольких градообразующих предприятиях

региона, двухуровневая система сетецентрического управления региональной безопасностью представлена сетью компьютеров, выполняющих функции управляющих центров. Система развернута на локальной сети со скоростью передачи данных 100 Мбит/с., состоящей из четырех рабочих станций (Pentium Dual Core 1,8 GHz, 2 Gb RAM; Pentium Core i5 3,1 GHz, 4 Gb RAM; Pentium Core i7 3,6 GHz, 8 Gb RAM; Pentium Dual Core 2,5 GHz, 4 Gb RAM). На каждом компьютере инсталлированы компоненты созданной распределенной агентной платформы и запущены программные агенты, имитирующие работу трех муниципальных ситуационно-кризисных центров (на нижнем уровне) и одного регионального (на верхнем уровне) соответственно. В тестовой задаче моделируется кризисная ситуация для трех градообразующих предприятий, расположенных в разных городах Мурманской области. Эксперимент показал, что время от момента ввода данных в систему от ЛПР о типе кризисной ситуации до синтеза и параметризации модели этой ситуации на основе формального анализа концептуальной модели региональной безопасности и взаимодействия программных агентов составило 0,0015 с. Время генерации множества сценариев антикризисного управления (планов совместных действий), включая время на согласование показателей безопасности, оптимизируемых агентами на разных уровнях системы, на основе переговорного процесса между агентами, составило 11,3562 с. Обычно согласование антикризисных мероприятий (принятие решения) в подобной ситуации на региональном уровне требует ведения переговоров между градообразующими предприятиями, муниципальными и региональными властями. Как правило, этот процесс занимает длительное время.

## **5.2. Модели и программные средства информационной поддержки управления инновационной безопасностью региональной экономики**

Мурманская область, по сравнению с другими арктическими регионами, обладает не только ресурсно-сырьевыми возможностями, но и высоким научно-инновационным и кадровым потенциалом. Регион характеризуется наличием высокообразованного населения с уровнем профессионального образования выше среднего по стране, развитой системой подготовки кадров, значительным научно-исследовательским комплексом, ядром которого является Кольский научный центр

Российской академии наук, тесно кооперирующейся в своих исследованиях с центральными академическими и ведомственными научно-исследовательскими организациями. Все это обуславливает актуальность задач обеспечения инновационной и кадровой безопасности развития этого арктического региона.

Инновационная безопасность региона в исследованиях [4, 9] определяется как такое состояние защищенности региональной экономики, при котором обеспечивается конкурентоспособность результатов научно-технической и инновационной деятельности, а также выпускаемой на территории региона научоемкой продукции. Для достижения этого состояния необходимо создание благоприятных условий в научно-технической, инновационно-технологической и промышленной сферах региональной экономики для зарождения инновационных идей, их развития и воплощения в виде продуктовых или технологических нововведений. Эти условия определяются имеющейся в регионе инфраструктурой развития инноваций. Информационная среда инновационной деятельности является одним из важнейших компонентов этой инфраструктуры, поскольку позволяет обеспечить выполнение требований экономической безопасности и повышение конкурентоспособности региона на глобальных рынках за счет неявного стимулирования субъектов экономической деятельности к генерации инновационных идей и реализации инновационных проектов, а также адекватной информационной поддержки всех этапов жизненного цикла инноваций – от зарождения идеи до производства и утилизации научоемких инновационных продуктов.

Таким образом, для управления инновационной безопасностью развития региональной экономики необходимо, чтобы в рамках информационной среды региональной безопасности были реализованы и функционировали компоненты, обеспечивающие информационную поддержку инновационной деятельности, а также формировались проблемно-ориентированные бизнес-структуры, ориентированные на реализацию потенциально эффективных инновационных проектов.

Для решения этой задачи нашли применение разработанные в ходе диссертационного исследования методы и средства мультиагентной виртуализации и автоматизированного синтеза спецификаций виртуальных организационных структур управления безопасностью, а также технология динамического формирования и конфигурирования проблемно-ориентированных мультиагентных коалиционных

систем (виртуальных пространств). Так, для рассматриваемого арктического региона (Мурманской области) на базе этих разработок создан комплекс моделей и программных средств [71], обеспечивающих комплексную информационно-аналитическую поддержку инновационной деятельности в регионе, а также способствующих повышению инновационного потенциала развития региональной экономики и, как следствие, уровня региональной безопасности.

Для информационного обеспечения инновационной безопасности региона созданы:

- 1) программная система интеграции технологически и семантически разнородных веб-ресурсов инноваций [76];
- 2) программная мультиагентная система информационно-аналитической поддержки инновационной деятельности [81, 126];
- 3) программный комплекс имитационного моделирования инновационных процессов [61, 168].

Система логической интеграции распределенных разнородных веб-ресурсов инноваций предназначена для обеспечения унифицированного (с использованием одних и тех же программ-клиентов и одних и тех же запросов) доступа к семантически разнородным данным, хранящимся на различных технологически разнородных информационных серверах, как к единому целому. Под информационными ресурсами инноваций понимаются любые данные, используемые участниками инновационных процессов, прежде всего, описания инновационных предложений. Функциональная структура системы логической интеграции веб-ресурсов инноваций представлены на рисунке 5.12.

Основной задачей системы является обеспечение пользователя (человека или программного агента) унифицированным интерфейсом для взаимодействия с разнородными информационными ресурсами инноваций, через который он получает доступ к основным функциям системы:

- автоматизированный поиск инновационных предложений, удовлетворяющих заданным ограничениям, в информационных базах распределенных разнородных Интернет-ресурсов инноваций;
- размещение инновационных предложений на различных серверных узлах, подключенных к системе;

- вывод сведений о состоянии подключенных Интернет-ресурсов;
- передача служебных сообщений системе;
- предоставление пользователю отчета о результатах выполнения его запроса на поиск или размещение данных.

Основными элементами системы являются: онтология предметной области, модули формирования и выполнения запросов, общесистемный тезаурус, блок анализа массивов текстовых данных (парсер), модуль индивидуальных надстроек ресурсов, интегрирующих информационные порталы и веб-сервисы в систему.

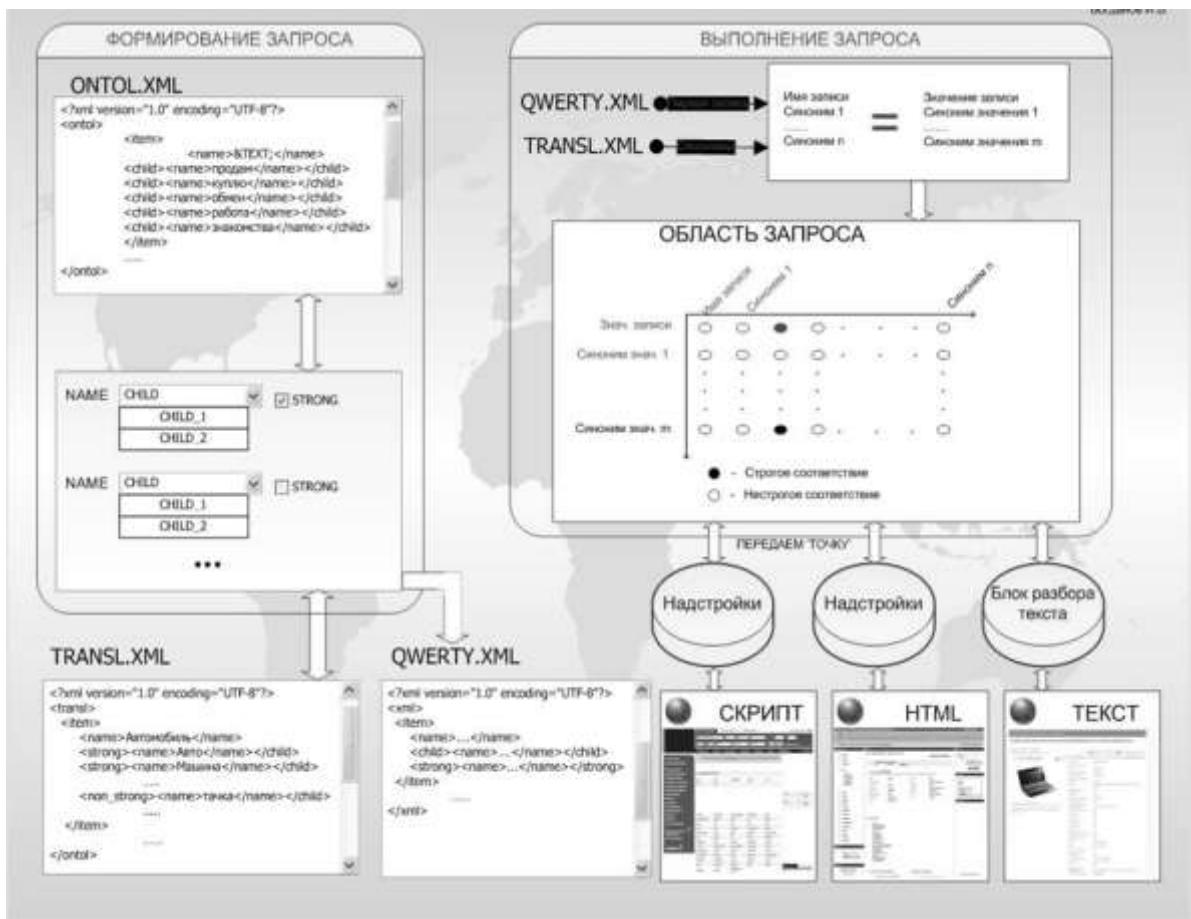


Рисунок 5.12 - Функциональная структура системы логической интеграции веб-ресурсов инноваций

Созданная программная мультиагентная система информационно-аналитической поддержки инновационной деятельности [81] в отличие от существующих систем информационной поддержки инноваций имеет открытую децентрализованную архитектуру (рисунок 5.13).

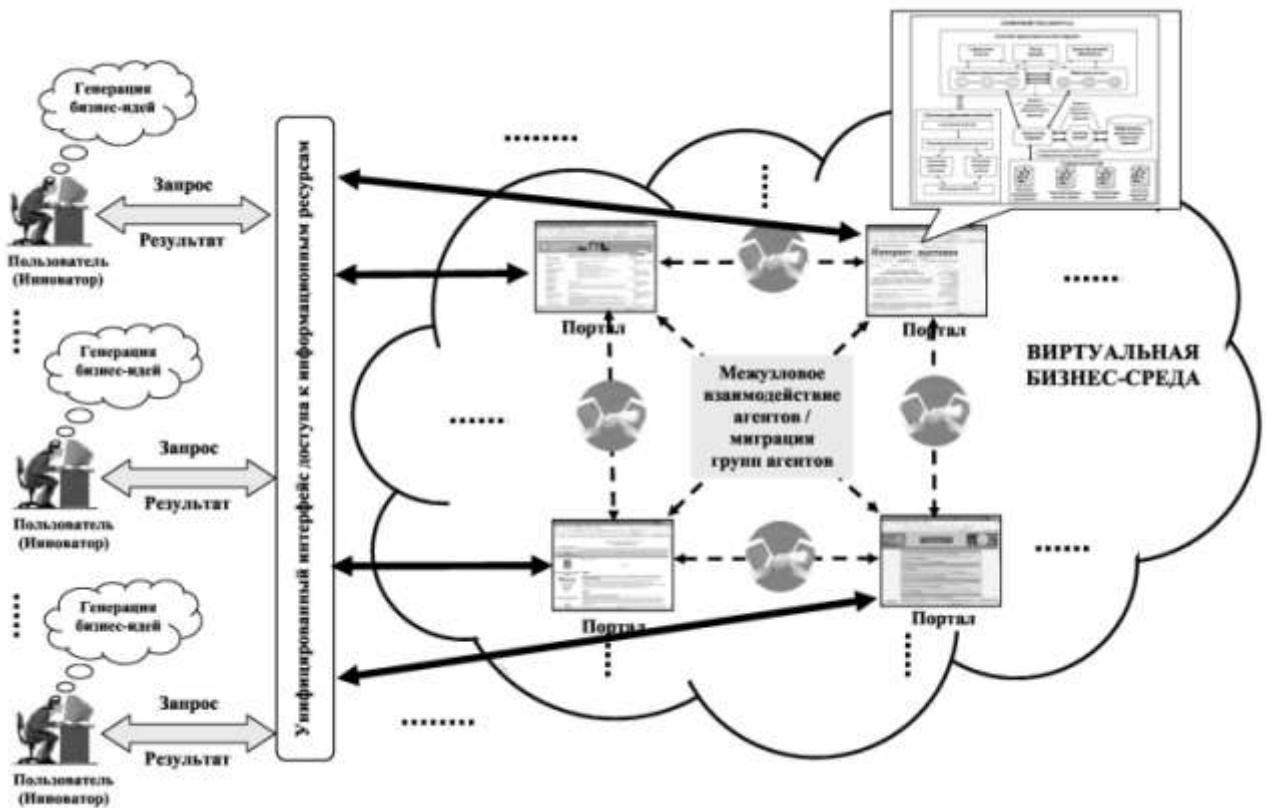


Рисунок 5.13 - Архитектура одноранговой распределенной мультиагентной системы информационно-аналитической поддержки инновационной деятельности

Содержащаяся в системе информация, являющаяся объектом оперирования со стороны программных агентов, представлена, прежде всего, формализованными описаниями инновационных предложений, а также дополнительной справочной информацией, используемой в ходе проработки и реализации инновационных проектов. С помощью этой информации агент по запросу пользователя (владельца агента) осуществляет поиск бизнес-партнеров для совместной реализации инновационных проектов, формирование и предварительную оценку потенциально эффективных инновационных структур, объединяющих разнотипных субъектов, участвующих в инновационных процессах.

Систему образуют следующие основные функциональные модули (рисунок 5.14):

1. *Агентное представительство (агентная платформа)*, загружаемое на стороне серверной платформы инновационного портала и представляющее собой среду локального исполнения агентов, в рамках которой программные агенты функционируют и взаимодействуют друг с другом.

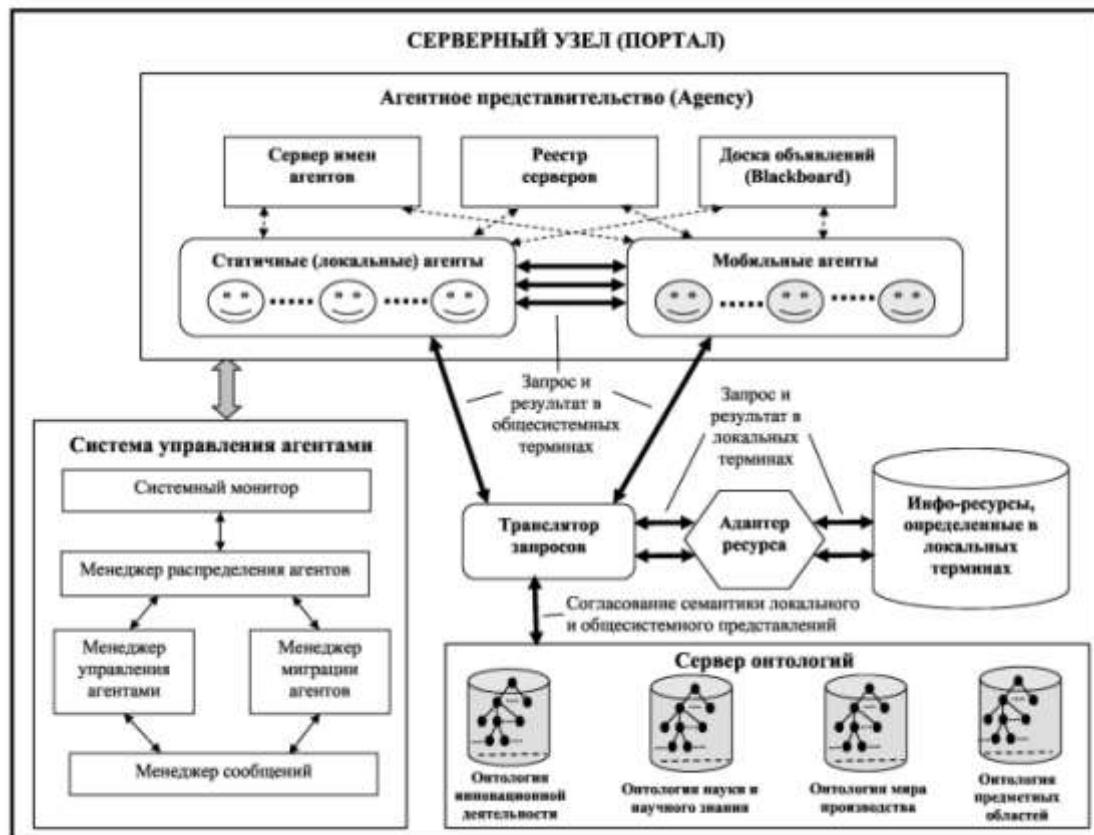


Рисунок 5.14 - Программные компоненты мультиагентной системы информационно-аналитической поддержки инновационной деятельности

В адресном пространстве агентного представительства реализованы программные компоненты, обеспечивающие межагентное взаимодействие и самоорганизацию агентов. К ним относятся:

- *Реестр серверов* содержит информацию о функционирующих узлах системы, а также контролирует подключение новых узлов и агентов к системе.
- *Сервер имен агентов* накапливает информацию об агентах системы. Формирование и поддержание распределенного реестра агентов, согласно работе [173], осуществляется на базе их привязки к древовидным концептуальным моделям предметной области (КМПО). Каждый агент хранит два адресных списка известных ему агентов – таблица адресов агентов, являющихся членами текущей группы данного (основная таблица), и таблица адресов прочих агентов (вспомогательная таблица). Формат адресной записи в таблицах имеет вид тройки: <Адрес; Тип агента; Список ассоциированных вершин КМПО>. В соответствии с предлагаемым в работе [173] подходом ведения реестра агентов, для подключения нового агента, последний должен располагать адресом, по крайней мере, одного активного узла (агента)

системы. Далее, запрашивая у известного (-ых) агента (-ов) основные и/или вспомогательные адресные списки, вновь подключившийся агент формирует собственные таблицы адресов.

- *Доска объявлений (Blackboard)* представляет собой специальный реестр - «витрину» бизнес-предложений субъектов инноваций. На стороне портала сгенерированные агенты с максимально близкими целями объединяются в группы по областям интересов (формирование виртуальных бизнес-площадок), информация о которых также регистрируется на «доске объявлений». Анализ информации, представленной на «доске объявлений», позволяет оценить нагрузку на узлах системы и определить интенсивности межагентных и межгрупповых коммуникаций на межузловом и внутриузловом уровнях, что позволяет осуществить динамическое перераспределение агентов и групп агентов между узлами системы. Организацией переговоров между агентами внутри группы управляют агенты-координаторы.

2. *Перемещаемый программный код*, реализующий мобильных агентов. Реализация мобильных агентов в виде перемещаемого кода позволяет обеспечить функциональную гибкость системы – произвольно изменять реализации алгоритмов расчета параметров инновационных структур и логики поведения агента, при условии сохранения интерфейса вызовов.

3. *Сервер онтологий*, обеспечивающий единую терминологическую базу для общесистемных и локальных запросов на поиск объектов и инновационных предложений. Сервер онтологий объединяет следующие онтологии: 1) онтологию инноваций и инновационной деятельности; 2) онтологию мира производства; 3) онтологию науки и научного знания; 4) онтологии предметных областей приложения инноваций, которые представлены в системе своими информационными ресурсами.

4. *Транслятор запросов*, обеспечивающий формирование поисковых запросов к локальным информационным базам портала на основе поступившего запроса в общесистемных терминах. В ходе трансляции используются онтологии предметных областей, хранящиеся на выделенном сервере онтологий.

5. *Программные компоненты*, реализующие внутреннюю логику функционирования и взаимодействия агентов, протоколы межагентных коммуникаций: системный монитор, менеджер распределения агентов, менеджер миграции агентов, менеджер управления агентами, менеджер сообщений.

6. Система безопасности программных мобильных агентов, обеспечивающая децентрализованное управление информационной безопасностью агентов и данных, которыми они оперируют, а также реализацию процедур идентификации и аутентификации агентов, шифрования и дешифрование информации, проверку целостности программного кода агентов и т.д.

Диаграмма классов и экранные формы, образующие пользовательский интерфейс системы представлены на рисунках 5.15 и 5.16.

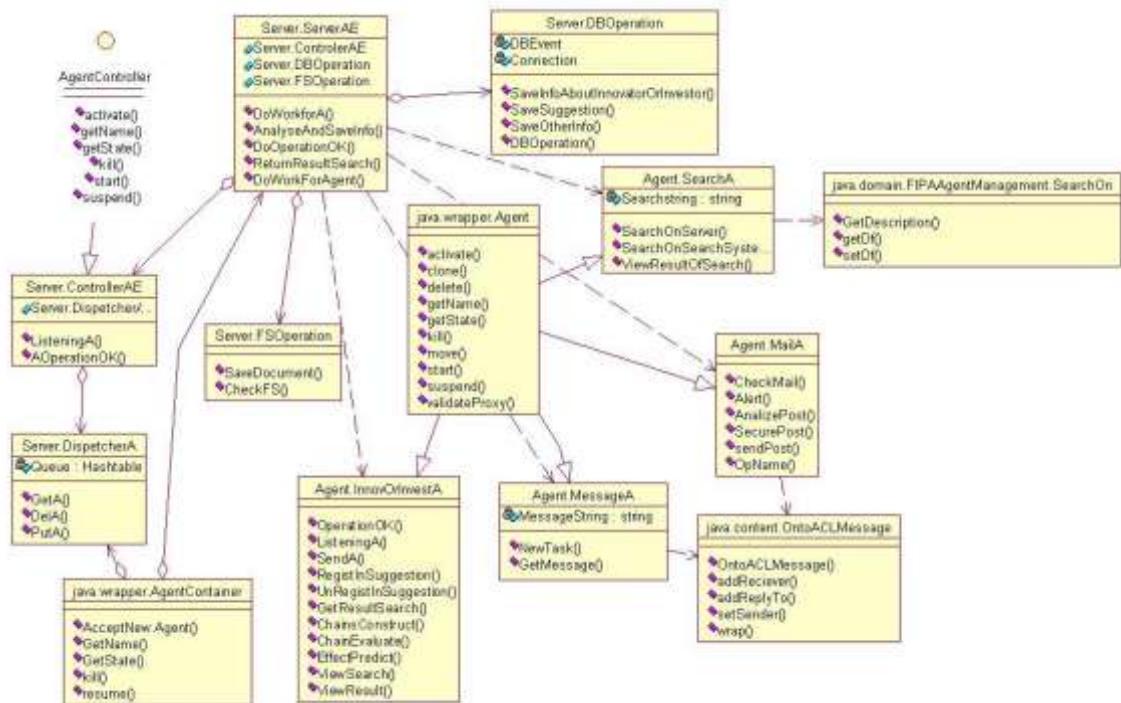


Рисунок 5.15 - Диаграмма классов мультиагентной системы информационной поддержки инновационной деятельности

Программная мультиагентная система информационно-аналитической поддержки инновационной деятельности в регионе наряду с современными прикладными разработками в этой области и B2B-системами (business-to-business – модель информационного и экономического взаимодействия между субъектами бизнеса, которые являются юридическими лицами, посредством Интернет-технологий) реализует следующие основные функции:

- автоматизированный поиск бизнес-партнеров на основе семантического анализа бизнес-предложений и профилей субъектов инноваций;
- автоматизированное формирование инновационных структур из распределенных компонентов и выбор наиболее эффективных из них;

- настройка параметров инновационных предложений и соответствующих им программных агентов в ходе диалога с пользователем;
- совместное использование информационных баз инновационных порталов и веб-сервисов информационной поддержки инноваций.

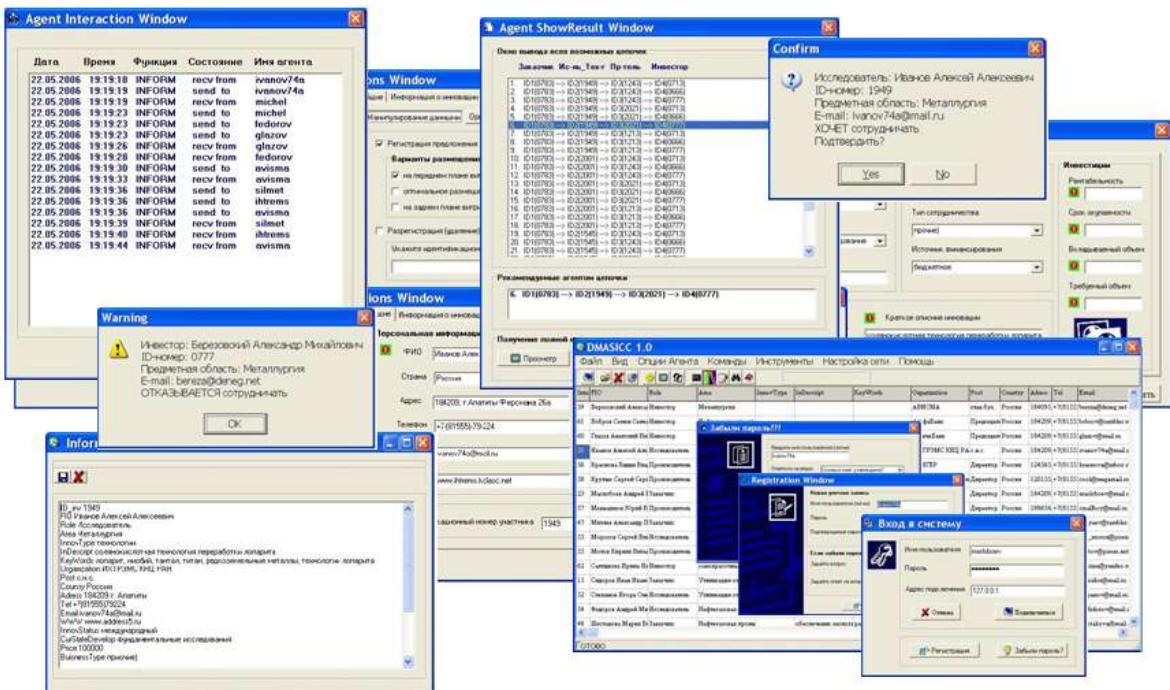


Рисунок 5.16 - Пользовательский интерфейс мультиагентной системы информационной поддержки деятельности

Разработанный программный комплекс имитационного моделирования жизненного цикла инноваций интегрирует средства, реализующие мультиагентную и системно-динамическую технологии моделирования, что позволяет оперативно генерировать и выбирать предпочтительные сценарии развития инновационных процессов. На базе данного инструментария в сочетании с технологией дистанционного формирования имитационных моделей из типовых модельных шаблонов (паттернов) разработан комплекс системно-динамических моделей процессов рыночной диффузии инноваций.

Комплекс предназначен для исследования инновационных процессов и обеспечивает прогнозирование рыночной результативности инновации при различных маркетинговых стратегиях. Обобщенная структура комплекса системно-динамических моделей рыночной диффузии инновации приведена на рисунке 5.17.

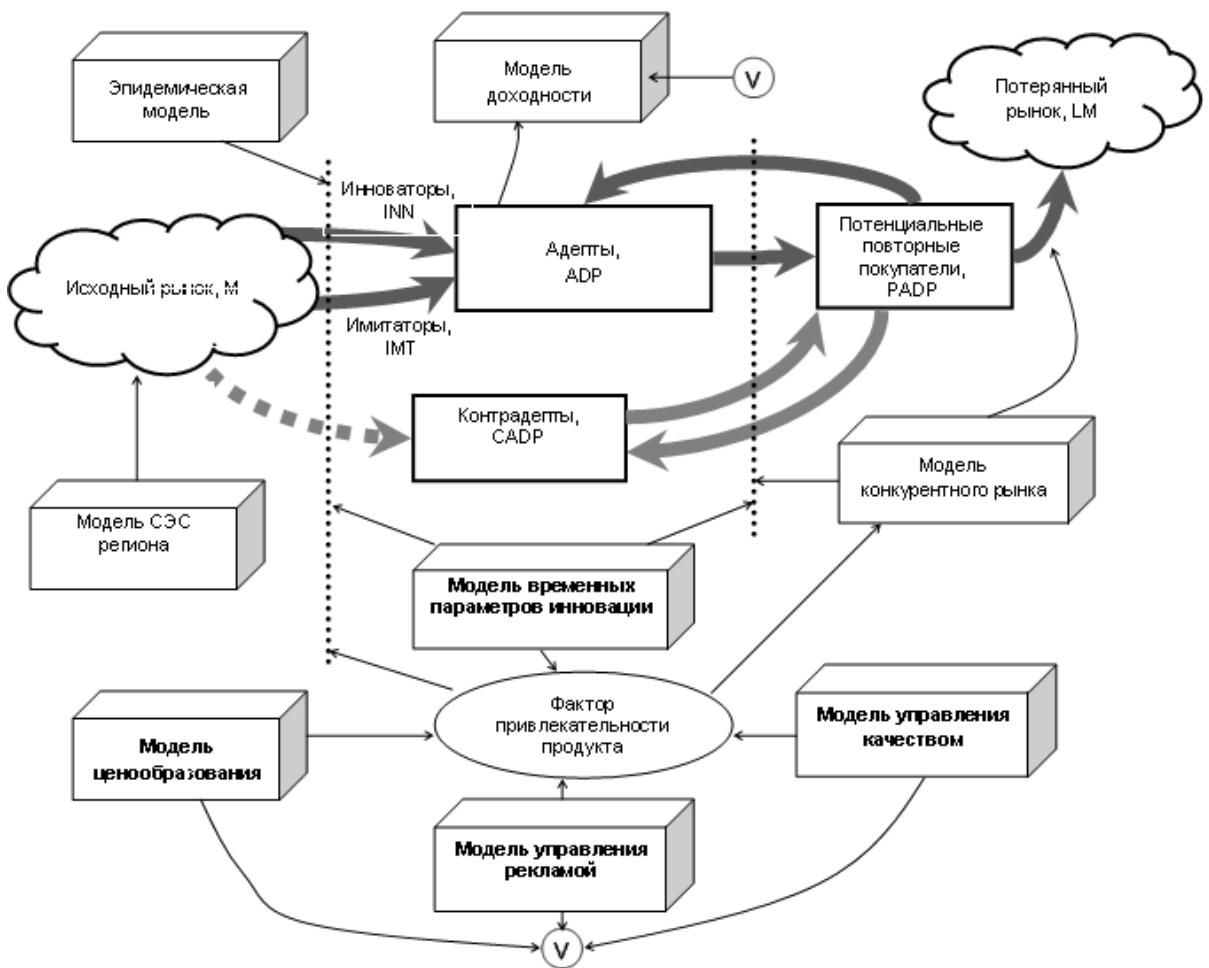


Рисунок 5.17 - Обобщенная структура комплекса системно-динамических моделей рыночной диффузии инновации

В состав комплекса входят следующие компоненты (подмодели):

- ядро, реализованное в виде разновидности эпидемической модели и определяющее динамику перехода потенциальных потребителей инновационного продукта (исходного рынка) в число его адептов, либо контрадептов (сторонников альтернативного товара);
- модель временных параметров жизненного цикла (ЖЦ) инновации, определяющая длительности основных периодов ЖЦ и их вариации;
- модель ценообразования, определяющая уровень цены единицы инновационного продукта в каждый момент модельного времени;
- модель управления рыночным продвижением продукта (рекламой), определяющая зависимость фактора привлекательности продукта от объемов и временных параметров капиталовложений в рекламную кампанию, типа и других параметров рекламы;

- модель управления качеством продукта, определяющая зависимость фактора привлекательности продукта от затрат на управление базовыми и постоянными потребительскими ценностями продукта;
- модель конкурентного рынка, определяющая закономерности распределения потоков потенциальных потребителей инновационного продукта между его адептами, контрадептами, повторными покупателями, потерянными рынком.

Перечисленные системно-динамические модели реализованы в среде динамического моделирования Powersim и могут использоваться как в комплексе, так и по отдельности для поддержки принятия решений в сфере управления инновационной безопасностью региона на основе оценки уровня развития технологий и инновационного потенциала региональной экономики.

Разработанный комплекс моделей и программных средств информационной поддержки инноваций развернуты и аprobированы на базе Центра коллективного пользования «Информационная система Кольского научного центра РАН» с привлечением региональных органов государственной исполнительной власти и некоммерческих организаций, специализирующихся в сфере инновационной деятельности: «Технопарк-Апатиты», «Центр трансфера технологий» и «Мурманский региональный инновационный бизнес-инкубатор».

В частности, для Министерства промышленности и предпринимательства Мурманской области с помощью разработанного программного обеспечения решались задачи выбора участников государственно-частного партнерства для реализации социально-ориентированных инвестиционных проектов на территории Мурманской области, значимых для экономической и социальной безопасности региона, и формирования соответствующих бизнес-структур. Разработки позволили синтезировать и реализовать на практике потенциально эффективные инновационные структуры для следующих социально-ориентированных инвестиционных проектов:

- разработка технологии улучшения водно-химического режима работы тепловых сетей для повышения качества теплоснабжения городов Апатиты и Кировск (инвестиционная программа филиала «Кольский» ОАО «ТГК-1»);
- разработка технологии получения гидрофобных сорбентов нефти для ликвидации последствий аварийных разливов нефтепродуктов на природно-охраняемых акваториях Кандалакшского залива Белого моря;

- создание технологии повышения эффективности обогащения апатит-штаффелитовых руд для увеличения объемов производства железорудного и апатитового концентратов (инвестиционный проект ОАО «Ковдорский горно-обогатительный комбинат»).

Использование созданных моделей и программных средств позволило более обоснованно и взвешенно подойти к детальной проработке этих проектов по созданию инновационных технологий за счет информационной поддержки, выразившейся в автоматизированном синтезе альтернативных вариантов инновационных структур и оценке их экономической привлекательности, а также анализе различных сценариев внедрения инновации с помощью разработанных имитационных моделей.

На рисунке 5.18 приведен пример практического использования разработанной программной системы в приложении к задаче формирования инновационной структуры, реализующей проект по созданию и внедрению в промышленную эксплуатацию новой технологии обогащения апатит-штаффелитовых руд на ОАО «Ковдорский горно-обогатительный комбинат».

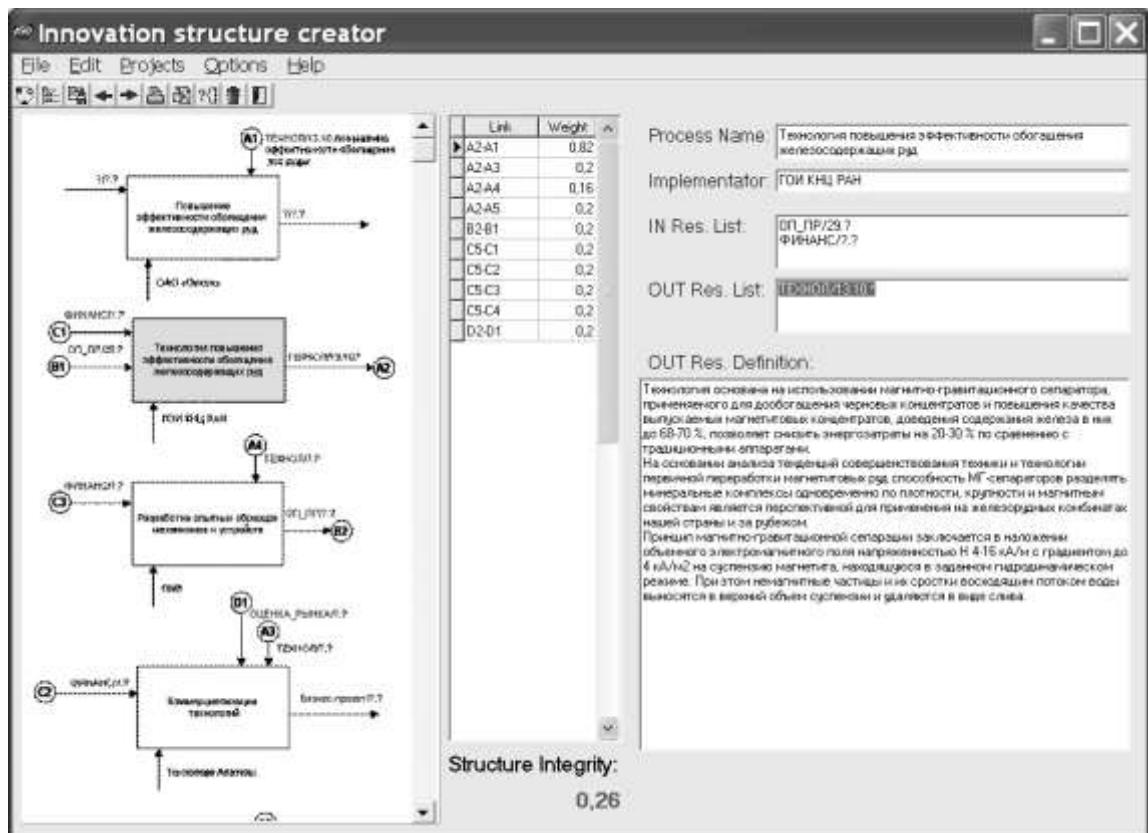


Рисунок 5.18 - Инновационная структура, реализующая проект по созданию технологии повышения эффективности обогащения апатит-штаффелитовых руд

Уже в настоящее время ведется активная работа по практической реализации данного проекта на основе сформированной инновационной структуры. При этом, реализация проекта в соответствии с сформированной инновационной структурой обеспечит:

- по критерию социальной эффективности - создание 93 новых рабочих мест, увеличение среднего уровня заработной платы до 50704,8 руб. в Ковдорском районе. Согласно официальным данным государственной статистики за 2012 года среднемесячная заработка по Ковдорскому району составила 36286,2 руб. Коэффициент социальной эффективности, рассчитываемый в соответствии с постановлением Правительства Мурманской области от 29.12.2011 №719-ПП, составляет:  $(3-1,6+50704,8/36286,2)*93=304$ ;
- по критерию бюджетной эффективности - поступление доходов в консолидированный бюджет Мурманской области за период реализации проекта (10 лет) оценивается в сумме 1888 млн. рублей (чистый дисконтированный приток в консолидированный бюджет области составит 9655 млн. рублей).

### **5.3. Информационное обеспечение кадровой безопасности региона**

Развитие и поддержание интеллектуального потенциала региона – ключ к эффективному управлению региональной безопасностью и обеспечению приемлемого уровня защищенности социально-экономической системы на перспективу с учетом динамически изменяющихся условий. В связи с этим кадровая безопасность является одной из важных составляющих региональной безопасности и непосредственно влияет на уровень безопасности развития региона. Качественное кадровое обеспечение основных отраслей региональной экономики позволяет создать благоприятные условия для экономического роста, обеспечивает социальную стабильность и возможность выхода региона на новый технологический уровень.

В ходе диссертационного исследования предложена собственная трактовка понятия «кадровая безопасность» развития региональных социально-экономических систем [75], которое определяется как комплекс организационных мер и средств информационной поддержки, направленных на управление кадрами с точки зрения выявления проблемных зон в кадровой обеспеченности предприятий региона и

выработку рекомендаций по устранению нежелательных эффектов проводимой кадровой политики на всех уровнях принятия управленческих решений.

Как уже отмечалось, Мурманская область обладает высоким интеллектуальным и промышленным потенциалом. Регион характеризуется исторически сложившимся небольшим числом развитых регионано-образующих отраслей (минерально-сырьевая база – горнопромышленный комплекс, рыбопромысловая база, оборонно-промышленный комплекс, энергетика), наличием градообразующих предприятий. Для обеспечения кадровой безопасности необходимо подготавливать и распределять трудовые ресурсы так, чтобы они обеспечивали кадровые потребности различных отраслей региональной экономики, как в текущих условиях, так и на перспективу.

Таким образом, как для Мурманской области, так и для других арктических регионов актуальной является задача оценки потенциальных возможностей региональной системы подготовки кадров и своевременное выявление угроз обеспечению региона трудовыми ресурсами. Прогноз кадровых потребностей региона в условиях вариативности кадрового заказа обеспечивает возможность синтеза стратегий развития регионального рынка труда для повышения кадрового потенциала региональной экономики.

Для решения этой задачи нашли применение разработанные в ходе диссертационного исследования распределенная проблемно-ориентированная агентная платформа, обеспечивающая возможность создания и использования полимодельных комплексов для информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью, и библиотека системно-динамических модельных шаблонов для имитационного моделирования процессов формирования кадровых потребностей региона.

На базе этих разработок создана информационная технология сетецентрического управления кадровой безопасностью региона (рисунок 5.19).

Технология позволяет оценить уровень кадровой безопасности региона и сформировать актуальную аналитическую информацию для поддержки принятия управленческих решений в этой сфере. В рамках технологии для согласования целей всех субъектов кадрового обеспечения рынок труда и система подготовки кадров моделируются сетью с выделенными организационными центрами управления. Технология использует разработанный комплекс имитационных моделей и

программных средств для анализа и оценки кадровых потребностей базовых отраслей региональной экономики Мурманской области. Технология позволяет осуществлять распределенную имитацию процессов, протекающих в различных компонентах региональной системы кадрового обеспечения, и на основе результатов имитации составлять рекомендации для принятия эффективных управленческих решений в сфере кадровой политики.



Рисунок 5.19 - Технология сетецентрического информационного управления кадровой безопасностью региона

При разработке системно-динамической модели регионального рынка труда учитывались следующие факторы, влияющие на кадровую безопасность региона:

- *экономические* (банкротство убыточных предприятий в регионе, создание новых предприятий);
- *демографические* (естественный прирост, возрастная структура, квалификационная структура, структура трудовых ресурсов региона, миграция населения, уровень подвижности трудовых ресурсов);
- *социальные* (службы занятости, уровень безработицы);
- *технико-технологические* (подготовка и переподготовка квалифицированных специалистов в регионе).

Разработанная системно-динамическая модель регионального рынка труда состоит из следующих основных блоков (подмоделей):

- 1) трудовые ресурсы (для каждой базовой отрасли региона);
- 2) система образования;

- 3) отрасль производства, в том числе предприятия и персонал;
- 4) население региона;
- 5) фонд перераспределения трудовых ресурсов.

Подмодель «*Трудовые ресурсы*» ориентирована на имитацию перераспределения трудовых ресурсов для каждой отрасли по возрастам и категориям (рабочие, специалисты, управленцы) в зависимости от образования. Здесь учитываются занятые и незанятые трудовые ресурсы. Подмодель обеспечивает возможность оценить уровень безработицы, а также нехватку кадров или перенасыщенность кадрами определенной специальности.

На выходе отдельной имитационной модели «*Система образования*» получается количество молодых специалистов в зависимости от уровня образования и профессиональной направленности, поступающих на рынок труда. Эти данные являются входными для блока «*Трудовые ресурсы*» и «*Фонда перераспределения*».

Основной задачей подмодели «*Отрасль производства*» является имитация процессов в региональной экономике, влияющих на возникновение и ликвидацию рабочих мест в каждой базовой отрасли региона. Данный вид подмодели состоит из двух компонентов: «*Предприятия*» и «*Персонал*». Компонент «*Предприятия*» отражает классификацию предприятий в зависимости от численности рабочих мест (малые, средние, крупные) и имитирует процесс возникновения и ликвидации предприятий, а также их реструктуризацию (переход на следующий уровень развития). Это позволяет отслеживать количество рабочих мест. Компонент «*Персонал*» отражает движение трудовых ресурсов в конкретной отрасли (наем, увольнение) и наличие свободных и занятых мест, что позволяет оценить нехватку кадров определенной категории.

Подмодель «*Фонд перераспределения*» ориентирована на имитацию движения трудовых ресурсов между отраслями региональной экономики.

Подмодель «*Население*» отражает динамику численности населения региона в зависимости от возраста. В данной подмодели учитываются миграционные процессы, рождаемость и смертность населения. Подмодель позволяет оценить потенциальную численность общих трудовых ресурсов.

Созданная модель отражает специфику отраслевой направленности региона и позволяет оценить кадровую потребность различных отраслей региональной

экономики, перенасыщенность кадров отдельных категорий работников, а также уровень безработицы. Для разработки модели использована инструментальная среда системно-динамического моделирования Powersim Studio SDK 2009.

Кадры горнодобывающей промышленности являются активной частью производственных сил, и от степени их подготовки, компетенции, оптимальности расстановки на производстве, уровня организации и стимулирования их труда зависит эффективность работы каждого предприятия и отрасли в целом. Поэтому задача прогнозирования кадровой потребности именно этой отрасли имеет принципиальное значение для обеспечения кадровой безопасности региональной экономики Мурманской области. Рассмотрим для примера реализацию имитационной модели оценки кадровой потребности горнодобывающей промышленности региона [10].

Математическая модель, позволяющая анализировать динамику численности предприятий, вакантных рабочих мест и занятых в горнодобывающей отрасли, описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\frac{d Pr}{dt} = MVP - MLP, \quad (5.1)$$

где  $Pr$  – количество имеющихся в регионе предприятий горнодобывающей отрасли;  $MVP$  – количество возникших малых предприятий;  $MLP$  – количество ликвидированных малых предприятий.

В данной отрасли рассматриваются только малые предприятия, поскольку анализ статистических данных показал, что за последние десятилетия динамика среди крупных и средних предприятий в горной промышленности не прослеживалась.

$$\frac{dN}{dt} = I - E + R - S, \quad (5.2)$$

где  $N$  – численность населения;  $I$  – иммиграция населения;  $E$  – эмиграция населения;  $R$  – рождаемость;  $S$  – смертность.

$$\frac{d(rmt)}{dt} = voz - likv, \quad (5.3)$$

где  $rmt$  – количество вакантных рабочих мест в горнодобывающей отрасли;  $voz$  – число возникших рабочих мест;  $likv$  – число ликвидированных рабочих мест.

$$\frac{d(rmt)}{dt} = prin - ush, \quad (5.4)$$

где  $Z$  – количество людей, занятых в горнодобывающей отрасли;  $prin$  – число принятых на работу людей;  $ush$  – число людей, ушедших с работы.

Сложность исследования предметной области приводит к тому, что для некоторых параметров модели невозможно с точностью указать функциональную зависимость от других элементов. Одним из эффективных методов моделирования и прогнозирования, который позволяет определить динамику отдельных показателей во взаимосвязи друг с другом, является регрессионный анализ [31].

Основной целью регрессионного анализа является необходимость установить конкретную аналитическую зависимость одного или нескольких результативных показателей от одного или нескольких признаков-факторов. В работе в качестве метода оценивания параметров регрессии применяется метод наименьших квадратов [31], поскольку он дает вполне эффективные оценки, которые являются линейными функциями от наблюдаемых значений.

Исходной информацией для обработки явились данные демографической статистики о численности населения Мурманской области, а также сведения Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области о среднегодовой численности работающих, о численности занятых по видам экономической деятельности и другие данные с 2005 по 2011 год [134-137, 140].

Анализ статистических данных и регрессионный анализ позволили определить вид функциональной зависимости следующих параметров модели.

*Количество возникающих малых предприятий.* Оценивалась зависимость данного параметра от оборота добычи полезных ископаемых на предприятиях, добычи полезных ископаемых и количества предприятий:

$$MVP = f_1(Ob, dpu, pr),$$

$$MVP = 0.117 + 5.895 \cdot 10^{-3} \cdot Ob - 1.432 \cdot 10^{-5} \cdot dpu + 0.072 \cdot pr,$$

где  $Ob$  – оборот добычи полезных ископаемых на предприятиях;  $dpu$  – добыча полезных ископаемых;  $pr$  – количество малых предприятий.

*Количество ликвидированных малых предприятий.* Оценивалась зависимость данного параметра от оборота добычи полезных ископаемых на предприятиях, добычи полезных ископаемых и количества предприятий:

$$MLP = f_2(Ob, dpu, pr);$$

$$MVP = 0.369 + 1.585 \cdot 10^{-3} \cdot Ob + 3.056 \cdot 10^{-5} \cdot dpu - 7.767 \cdot pr,$$

где  $Ob$  – оборот добычи полезных ископаемых на предприятиях;  $dpu$  – добыча полезных ископаемых;  $pr$  – количество малых предприятий.

*Возникающие рабочие места на крупных предприятиях.* Оценивалась зависимость данного параметра от оборота добычи полезных ископаемых на предприятиях и добычи полезных ископаемых:

$$vrm\_kr\_pr = f_3(Ob, dpu);$$

$$vrm\_kr\_pr = 2.152 \cdot 10^3 - 0.073 \cdot Ob + 0.092 \cdot dpu,$$

где  $Ob$  – оборот добычи полезных ископаемых на предприятиях;  $dpu$  – добыча полезных ископаемых.

*Ликвидированные рабочие места на крупных предприятиях.* Оценивалась зависимость данного параметра от оборота добычи полезных ископаемых на предприятиях и добычи полезных ископаемых:

$$lrm\_kr\_pr = f_4(Ob, dpu);$$

$$lrm\_kr\_pr = 1.956 \cdot 10^3 - 0.029 \cdot Ob + 0.043 \cdot dpu,$$

где  $Ob$  – оборот добычи полезных ископаемых на предприятиях;  $dpu$  – добыча полезных ископаемых.

Коэффициент корреляции, который позволяет выяснить степень связности элементов, по каждому из параметров имеет следующие значения:

- по возникающим рабочим местам на крупных предприятиях  $r = 0.775$ ;
- по ликвидированным рабочим местам на крупных предприятиях  $r = 0.634$ ;
- по количеству возникающих малых предприятий  $r = 0.421$ ;
- по количеству ликвидированных малых предприятий  $r = 0.71$ .

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что все рассмотренные показатели имеют тесную корреляционную связь. Это дает возможность использовать полученные зависимости для построения имитационной модели кадровой потребности горнодобывающей отрасли Мурманской области.

Разработанная системно-динамическая модель включает в себя несколько блоков, которые отражают направленность каждого элемента.

*Население области.* К основным задачам блока относятся: моделирование динамики изменения общей численности населения, учет рождаемости, смертности,

иммиграции и эмиграции населения, а также количества рабочих мест по Мурманской области во всех отраслях и др.

*Население, занятное в горнодобывающей отрасли.* В данном блоке оценивается численность населения, которое работает в рассматриваемой отрасли, количество безработных, принятых на работу, уволенных по различным причинам, а также количество рабочих мест в горнодобывающей отрасли и др.

*Рабочие места горнодобывающей отрасли.* Данный блок отражает количество возникших, ликвидированных, а также вакантных рабочих мест рассматриваемой отрасли, количество принятых, ушедших с работы людей по различным причинам, а также среднее число рабочих на предприятии горнодобывающей отрасли и др.

*Рабочие места крупных предприятий горнодобывающей отрасли.* Данный блок включает в себя следующие параметры: добыча полезных ископаемых, их оборот, количество возникших и ликвидированных рабочих мест на крупных предприятиях области и количество данных предприятий.

Общий вид созданной системно-динамической модели показан на рисунке 5.20.

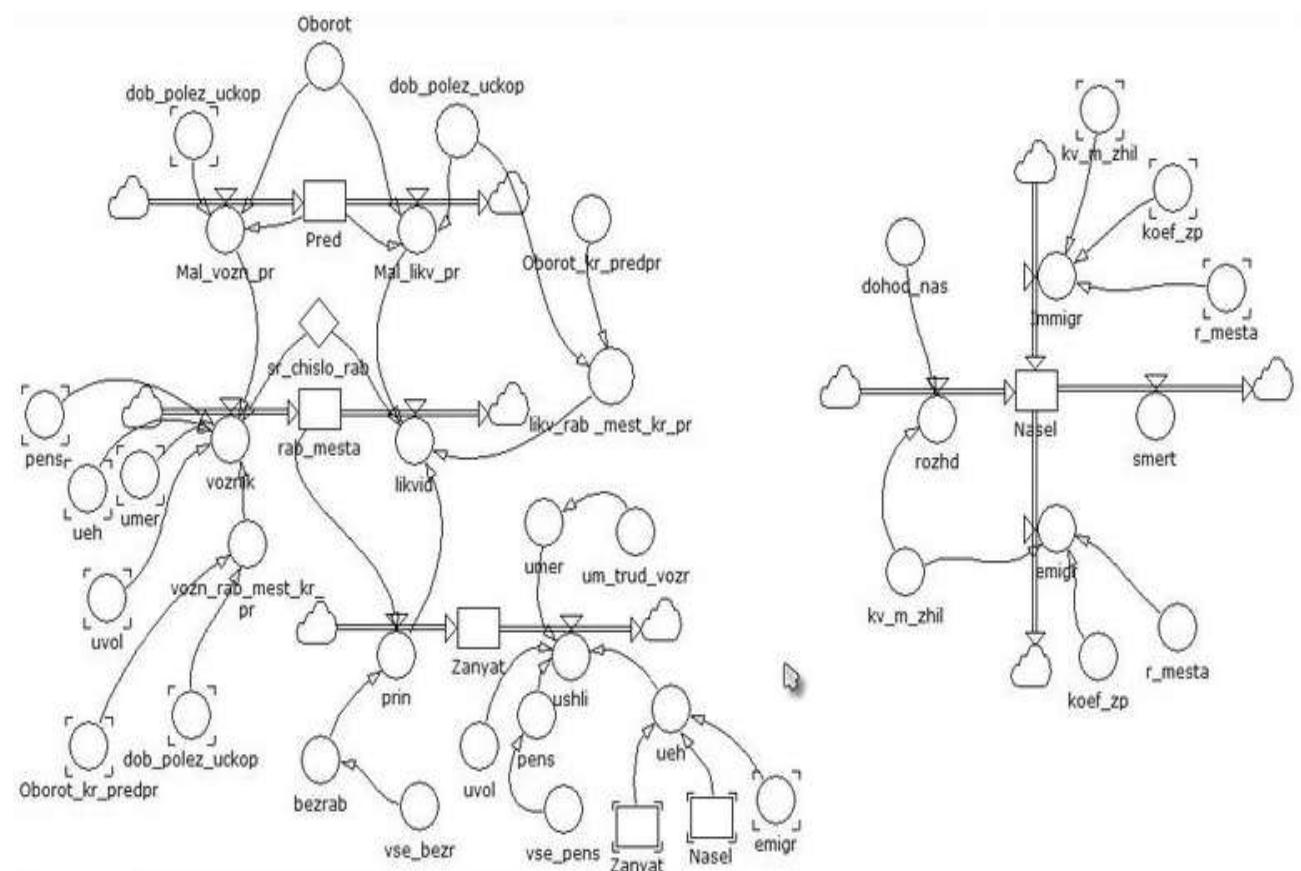


Рисунок 5.20 - Системно-динамическая модель кадровой потребности горнодобывающей отрасли

Результаты верификации модели и полученные на ее основе прогнозные оценки изложены в работе [10], в которой также представлены другие примеры разработанных имитационных моделей для оценки кадровых потребностей региональной экономики, например для торговой отрасли Мурманской области.

Практическая реализация созданных имитационных моделей нашла свое отражение в разработке программных средств, предназначенных для информационной поддержки принятия управленческих решений в сфере кадровой безопасности региона. К ним относятся:

- 1) Программный комплекс для информационной поддержки управления кадровой безопасностью региональной экономики. Комплекс является средством поддержки принятия решений, сокращающих время на сбор и обработку актуальной информации и повышающих эффективность принимаемых решений в области кадровой безопасности региона. Предоставляемый инструментарий обеспечивает оценку потребностей региональной экономики по каждому виду специализации работников и трудовых ресурсов, подготовленных и переподготовленных региональной системой образования и подготовки кадров;
- 2) Программная мультиагентная система управления качеством высшего образования [113]. Управление качеством осуществляется на основе имитационного моделирования за счет проигрывания различных сценариев организации образовательного процесса с целью повышения эффективности выполнения кадрового заказа основных отраслей региональной экономики.

Реализованный в составе данного программного обеспечения метод синтеза спецификаций виртуальных организационных структур управления безопасностью нашел приложение в решении актуальной для региональной системы подготовки кадров задачи, связанной с поиском существующих вариантов подготовки специалистов, которые могут быть перепрофилированы или использованы иным способом для оперативного удовлетворения спроса на «новых» специалистов.

В рамках его применения в качестве сервисов агентов рассматривались модули учебных программ, входными «ресурсами» которых являются необходимые для освоения модуля базовые компетенции учащегося, а выходными – компетенции, приобретаемые в результате освоения модуля. В качестве источника исходной информации для применения метода использовалась база данных, в которой

представлены учебные планы (стандарты) всех существующих в области вариантов профессионального обучения. В качестве отправной точки двунаправленного синтеза, как и в работе [72], использовались сервисные представления уже реализуемых в регионе программ профессиональной подготовки, выпускники которых востребованы рынком труда в недостаточной степени.

В настоящее время Мурманская область, как и другие региона России, испытывает острую потребность в квалифицированных специалистах по информационной безопасности. Это обусловлено тем, что одним из центральных источников угроз как региональной, так и национальной безопасности является религиозно-политический экстремизм, проявляющийся в возникновении межнациональных конфликтов, зачастую инспирированных внешними и внутренними деструктивными информационными воздействиями на гражданское общество посредством популярных в последнее время технологий инфокоммуникаций – социальных сетей. В связи с этим, мониторинг информационного влияния на состояние региональной и национальной безопасности являются задачами государственной важности. Именно поэтому, сегодня, подготовка квалифицированных специалистов по информационной безопасности так важна для обеспечения региональной безопасности и снижения социальной напряженности.

Учитывая эти обстоятельства, одна из задач, которая была решена с помощью разработанных в работе моделей и методов, заключалась в поиске вариантов организации подготовки специалистов по информационной безопасности на основе существующих образовательных процессов по направлению «Информатика и вычислительная техника». В настоящее время подготовка по данной специальности в Мурманской области не производится. Количество вакансий для специалистов с высшим образованием по информационной безопасности на региональном рынке труда в четыре раза меньше количества вакансий для специалистов аналогичного уровня по информатике и вычислительной технике. В результате моделирования установлено, что возможным вариантом достаточно оперативного решения проблемы является подготовка требуемых специалистов на основе «дообучения» избыточного числа выпускников ступени среднего специального образования по направлению «Информатика и вычислительная техника». Полученные результаты послужили основанием для подготовки предложений по лицензированию специальности

«Информационная безопасность» на базе факультета информатики и прикладной математики Кольского филиала Петрозаводского государственного университета.

Применение разработанных моделей и программных средств позволило сократить время на получение и обработку аналитической информации по вопросам кадровой обеспеченности отраслей региональной экономики, а также повысить эффективность принимаемых решений в сфере управления кадровой безопасностью развития региона за счет интеграции средств имитации и прогнозирования с современными информационными технологиями.

#### **5.4. Информационные модели для поддержки управления экологической безопасностью арктических коммуникаций**

Устойчивое развитие арктических регионов в значительной степени зависит от безопасности функционирования Северного морского пути (СМП) - транспортной артерии, связывающей западное и восточное полушария Земли. Использование СМП для морских перевозок, по сравнению с альтернативным маршрутом (Суэцким каналом), проходящим через южные регионы, имеет ряд преимуществ: сокращение времени доставки грузов, снижении издержек на зарплату экипажам судов и их фрахта, экономия топлива, отсутствие пиратских нападений, но сдерживается из-за суровых природно-климатических условий и высоких рисков возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Для ряда арктических регионов СМП является единственным средством жизнеобеспечения и напрямую влияет на их продовольственную безопасность. В связи с этим, обеспечение экологической и транспортной безопасности арктических коммуникаций является актуальной задачей.

Решение данной задачи затрудняется необходимостью оперативной обработки и анализа больших объемов разнотиповой информации о влиянии разнородных факторов на состояние функционирования СМП для координации деятельности различных ведомств в этом районе. Комплексный информационный мониторинг гидрометеорологической, ледовой и навигационной обстановки на акваториях СМП позволит обеспечить поддержку принятия стратегических и оперативных решений по управлению безопасностью арктических коммуникаций в условиях возникновения разнородных чрезвычайных и кризисных ситуаций.

Для решения этой задачи на территории Арктической зоны РФ будут созданы десять комплексных аварийно-спасательных центров МЧС России с целью обеспечения экологической безопасности СМП при транспортной и хозяйственной деятельности. Пять из этих центров уже построены и введены в эксплуатацию, в том числе один из них в Мурманской области.

Таким образом, одним из направлений приложения предложенных в работе моделей, методов и технологий к данной задаче является информационное сопровождение функционирования региональных аварийно-спасательных центров в арктических регионах и координация процессов принятия управленческих решений в сфере обеспечения экологической безопасности СМП.

Так, в качестве тестовой задачи рассматривалась наиболее типичная для СМП ситуация, связанная с аварийными разливами нефтепродуктов на его акватории. Эта ситуация относится к категории техногенных, быстропротекающих чрезвычайных ситуаций и требует оперативного согласованного принятия управленческих решений по формированию планов соответствующих антикризисных мероприятий и их реализации. Для решения подобной задачи нашли применение предложенный в работе подход к координации сетевентрического управления безопасностью, основанный на многоуровневой иерархической рекуррентной модели, а также метод формирования виртуальных организационных структур управления безопасностью.

На основе этих разработок и созданных программных средств моделировался процесс координации принятия решений по ликвидации рассматриваемой кризисной ситуации. Двухуровневая система сетевентрического управления экологической безопасностью СМП представлена сетью компьютеров, выполняющих функции управляющих центров. Система развернута на локальной сети со скоростью передачи данных 100 Мбит/с., состоящей также из четырех рабочих станций. На каждом компьютере инсталлированы компоненты распределенной агентной платформы и запущены программные агенты, имитирующие работу профильных ведомств, участвующих в процессах локализации чрезвычайных ситуаций рассматриваемого типа. Агенты используются для определения входных параметров моделирования и формирования оперативного контекста анализируемой ситуации. В качестве входных параметров рассматривались время суток, метеоданные (температура воздуха,

давление, направление и скорость ветра), тип нефтепродуктов, координаты места разлива, масса разлива, тип судна, наличие возгорания и пострадавших.

Модель реализована с использованием агентной платформы JADE и программного имитатора NetLogo [210], образующих в совокупности мультиагентную среду моделирования. Для тестовой задачи сгенерированы 15 программных агентов, функционирующих в рамках двухуровневой системы управления безопасностью СМП: 6 из них являются управляющими агентами верхнего уровня (координаторы), остальные агенты представлены подчиненными подразделениями на нижнем уровне. На основе применения метода синтеза виртуальных организационных структур сформировано четыре альтернативных варианта территориальных комиссий по координации управления ликвидацией рассматриваемой чрезвычайной ситуации с учетом оперативного контекста ситуации. Для расчета оптимального количества сил и средств для ликвидации симулированной на модели ситуации использованы динамические модели распределения ресурсов в условиях чрезвычайных ситуаций, предложенные в работе [181] и обеспечивающие учет времени реагирования, стратегии ликвидации, производительности сил, местоположения и затрат на проведение ликвидации (антикризисных мероприятий).

Общее время на принятие решений в моделируемой ситуации, включая время на получение информации системой от диспетчера или ЛПР о типе ситуации, время на генерацию оперативного контекста ситуации, время на поиск (доопределение) неизвестных параметров ситуации, а также время на согласование совместных действий и конфигурацию организационных структур управления безопасностью в рамках переговорного процесса между агентами, составило 17,6259 сек. Обычно принятие решений в подобной ситуации требует значительных временных затрат, связанных с формированием территориальных координационных комиссий, ведением переговоров, как минимум, между диспетчерами трех профильных ведомств, согласованием сферы ответственности. В лучшем случае время от поступления сигнала о возникновении чрезвычайной или кризисной ситуации на акватории СМП, до принятия решения, в частности, для рассмотренного примера с аварийным разливом нефтепродуктов, занимает до 4 часов.

Это время может быть в значительной мере уменьшено в режиме децентрализованного управления безопасностью СМП, который является

естественным для функционирования данного объекта управления, поскольку единой системы организационного управления безопасностью СМП в настоящее время не существует (организационно разнородные ведомства не подчиняются друг другу, преследуют собственные цели и, как следствие, плохо координируются). Эффект достигается за счет использования созданной многоуровневой иерархической рекуррентной модели для координации локальных решений сетевоцентрического управления безопасностью СМП и агентных технологий. При таком подходе обеспечивается сокращение времени на принятие решений по предотвращению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, характерных для СМП, примерно на 30-40%.

## **5.5. Технико-экономическое обоснование информационной среды региональной безопасности**

В качестве объекта оценки качества архитектурных (системотехнических) и технологических решений ИАС РБ в работе принят комплекс средств информационно-аналитической поддержки типового регионального центра управления в кризисных ситуациях (РЦУКС). РЦУКС непосредственно участвуют в реализации мероприятий, направленных на обеспечение региональной и международной безопасности критически важных объектов, локализованных на территории Арктической зоны России, включая Мурманскую область.

Основными критериями оценки качества информационного обеспечения функционирования РЦУКС являются: своевременность предоставления требуемой информации для поддержки принятия решений, полнота оперативного отражения в ИАС РЦУКС объектов учета и актуальность обновляемой информации на всех этапах жизненного цикла развития региональных кризисных ситуаций.

В ходе исследований обоснована эффективность реализации работы сети виртуальных когнитивных центров управления безопасностью в кризисных ситуациях на основе принципов сетевоцентрического управления по сравнению с организацией функционирования действующей системы распределенных ситуационных центров на основе механизмов централизованного управления.

Рассматривались следующие факторы: число подключенных узлов, число сгенерированных агентов, число сформированных коалиций агентов, количество итераций (общее время выполнения пользовательских запросов/задач).

Показано, что с ростом числа виртуальных когнитивных центров, подключаемых к системе узлов и агентов, увеличивается интенсивность межагентных коммуникаций и число миграций агентов между узлами сети в процессе формирования коалиций. При реализации сети виртуальных когнитивных центров с централизованным управлением региональной безопасностью в кризисных ситуациях нагрузка на центральный сервер в этом случае значительно возрастает и, соответственно, увеличивается общее время работы агентов по поиску и композиции сервисов и информационных ресурсов для решения пользовательских задач. При этом эффективность функционирования самой системы информационно-аналитической поддержки в целом снижается. В случае же реализации сети виртуальных когнитивных центров с децентрализованным управлением региональной безопасностью вся нагрузка по выполнению функций координации деятельности субъектов безопасности распределяется между управляющими агентами виртуальных когнитивных центров и агентными представительствами серверных узлов системы. В результате, децентрализованное управление безопасностью, вне зависимости от увеличения количества подключаемых к системе новых узлов или агентов, обеспечивает балансирование и даже снижение нагрузки на информационно-коммуникационную инфраструктуру региональной безопасности, а также сокращает общее время на решение пользовательских задач, что приводит к повышению производительности системы информационно-аналитической поддержки. Это, в свою очередь, обеспечивает сокращение времени на принятие оперативных и стратегических решений на разных уровнях управления региональной безопасностью.

Для определения экономической эффективности создания и внедрения ИАС РБ в работе используется методика сбалансированной системы показателей BSC (Balanced Score Card) [199], обеспечивающая возможность оценки удовлетворения информационных потребностей субъектов управления за счет сервисов ИАС РБ с учетом их собственных целей и моделей взаимодействия на основе экспертно-имитационного моделирования. Это позволяет определить наиболее подходящую конфигурацию ресурсов и сервисов ИАС РБ для формирования эффективных организационных структур управления безопасностью в разнородных кризисных ситуациях.

Анализ функционирования РЦУКС на территории Мурманской области и проведенные имитационные эксперименты с авторскими разработками показали, что за счет использования разработанных моделей, методов и программных средств в составе информационной инфраструктуры системы организационного управления региональной безопасностью Мурманской области обеспечивается возможность сокращения времени на выработку и реализацию оперативных и стратегических управленческих решений в условиях кризисных ситуаций социально-экономического и природно-техногенного характера на 20-30% по сравнению с инструментальными средствами современных систем информационного обеспечения муниципальных и региональных ситуационно-кризисных центров. Эффект достигается за счет адекватной информационно-аналитической поддержки и координации деятельности субъектов управления безопасностью, а также непрерывного мониторинга угроз региональной безопасности и оценки их влияния на процесс регионального развития. Повышение оперативности и согласованности совместных действий (в том числе принятия решений) по управлению региональной безопасностью в условиях разнотипных кризисных ситуаций позволяет сократить затраты профильных ведомств на 5-10% на этапе планирования и реализации антикризисных мероприятий. Вместе с тем, установлено, что за счет внедрения созданных методов и средств автоматизации управления безопасностью в работу РЦУКС Мурманской области, обеспечивается возможность сокращения штатной численности сотрудников в среднем на 25-30% по сравнению с существующей организационно-штатной структурой. Это обеспечивает экономию средств федерального бюджета, ежегодно выделяемых на поддержание материально-технической базы и кадровое обеспечение РЦУКС в среднем на 10%.

## **Выводы**

Основным результатом пятой главы является приложение разработанных в диссертации моделей, методов и основанных на них программных средств для создания целостной информационной среды региональной безопасности в регионах Арктической зоны РФ. Такая среда развернута на территории Мурманской области. Разработки обеспечили решение ряда практических задач в области экономической, экологической, инновационной и кадровой безопасности Мурманской области.

Ядро и программные компоненты информационной среды региональной безопасности Мурманской области реализованы на базе информационно-коммуникационной инфраструктуры ГОКУ «Управление по ГОЧС и ПБ Мурманской области» и Министерства экономического развития региона при содействии Комитета по развитию информационных технологий и связи Мурманской области.

Эффективность применения созданных средств информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью подтверждена в ходе проведения экспериментов с разработанными моделями, методами и программным обеспечением.

Основными проблемами, оказывающими «тормозящий» эффект на пути масштабного внедрения предлагаемых в диссертации разработок в практическую деятельность субъектов управления региональной безопасностью, являются:

- 1) несовершенство нормативно-правовой базы;
- 2) сложность позиционирования виртуальных центров управления региональной безопасностью в структуре государственного управления, как на региональном, так и федеральном уровнях.

Очевидно, что эти проблемы нельзя решить без постоянного взаимодействия с органами государственного управления на всех этапах развития и использования созданной информационной инфраструктуры региональной безопасности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе сформулирована и решена научно-техническая проблема сетецентрического управления безопасностью развития региональных социально-экономических систем Арктической зоны России, имеющая важное значение для национальной безопасности страны и экономики российской Арктики. Решение проблемы базируется на разработанных информационных моделях, методах и технологиях получения, обработки, анализа и интеграции информации для задач управления безопасностью развития региона. Обеспечено создание целостной информационной инфраструктуры региональной безопасности и повышение эффективности деятельности субъектов управления безопасностью за счет комплексной информационно-аналитической поддержки и координации процессов принятия решений на всех уровнях управления региональной безопасностью.

На основе интеграции методов концептуального, системно-динамического и мультиагентного моделирования formalизован когнитивный подход и разработана методология информационной поддержки управления региональной безопасностью на трех уровнях принятия управленческих решений: стратегическом, тактическом и оперативном. Для реализации предложенного подхода разработаны модели и методы формирования и функционирования сетецентрической информационной среды, обеспечивающей интеграцию и автоматизированную децентрализованную обработку распределенных информационно-вычислительных ресурсов для решения комплекса задач информационной поддержки управления региональной безопасностью. Средства реализации предложенных разработок обеспечили выполнение заданных функциональных требований к системам информационной поддержки управления региональной безопасностью.

В рамках решения сформулированной в работе проблемы получены следующие основные результаты:

1. Исследована проблематика сетецентрического управления региональной безопасностью. Проведена оценка применимости существующих методов и средств для повышения эффективности управления региональной безопасностью. На основе проведенного системного анализа объекта и методов исследования предложена комплексная методология информационной поддержки управления региональной

безопасностью, обеспечивающая решение проблемы сетевентрического управления безопасностью региональных социально-экономических систем.

2. На основе предложенной методологии созданы средства информационно-аналитической поддержки деятельности субъектов безопасности, обеспечивающие повышение оперативности решения задач обеспечения региональной безопасности в условиях сетевентрического управления. Разработаны тренажерно-моделирующие комплексы, предназначенные для интеллектуальной поддержки принятия решений и координации сетевентрического управления в сфере региональной безопасности.

3. Разработан метод единого формализованного представления состава объектов и субъектов, участвующих в процессах управления региональной безопасностью, и отношений между ними. Формализованное представление реализовано в виде интегрированной концептуальной модели мультиагентной информационно-аналитической среды. Модель обеспечивает формальную основу для автоматизации и имитационного моделирования процессов управления региональной безопасностью с целью генерации и анализа сценариев развития кризисных ситуаций.

4. Для координации сетевентрического управления безопасностью региона разработана и исследована многоуровневая рекуррентная иерархическая модель безопасности региональных социально-экономических систем. Специфика модели заключается в использовании функционально-целевой технологии и математического аппарата теории иерархических многоуровневых систем для реализации процедур согласования локальных решений сетевентрического управления безопасностью. Модель обеспечивает координацию показателей безопасности, оптимизируемых различными элементами многоуровневой системы организационного управления региональной безопасностью, в условиях децентрализованного принятия решений.

5. На основе формального анализа созданной концептуальной модели мультиагентной виртуальной среды региональной безопасности разработан метод автоматизированного синтеза спецификаций виртуальных организационных структур управления безопасностью в разнородных кризисных ситуациях. Метод обеспечивает семантический поиск и композицию информационных ресурсов и сервисов агентов, а также динамическое формирование коалиций между агентами для информационной поддержки принятия решений на всех уровнях управления безопасностью региона.

6. Предложен метод информационного мониторинга и индикаторной оценки региональной безопасности, использующий интеллектуальные агенты для сбора и анализа информации о состоянии элементов региональных социально-экономических систем по широкому кругу индикаторов безопасности. Метод основан на применении технологий интеграции, обработки и согласования экспертных знаний, а также средств имитационного моделирования для прогнозирования динамики показателей безопасности региона. Метод обеспечивает формирование интегральных показателей для каждой области региональной безопасности, которые в совокупности образуют матрицу региональной безопасности. Анализ матрицы позволяет синтезировать и исследовать различные сценарии антикризисного управления безопасностью региона.

7. Создана когнитивная технология информационной поддержки «сквозного» управления региональной безопасностью на всех этапах жизненного цикла развития региональных кризисных ситуаций и угроз безопасности. Технология основана на мультиагентной виртуализации процессов управления региональной безопасностью, что обеспечивает адаптивное моделирование поведения субъектов управления безопасностью в условиях разнородных кризисных ситуаций и согласованность информационного взаимодействия между ними на этапе планирования совместных антикризисных мероприятий.

8. Разработана мультиагентная технология динамического формирования и конфигурирования сетевентрической информационной среды безопасности региона, основанная на моделях самоорганизации агентов в открытых мультиагентных системах. Технология обеспечивает синтез проблемно-ориентированных виртуальных проактивных систем для информационной поддержки принятия решений в каждой области региональной безопасности на всех уровнях управления.

9. Разработана архитектура сервис-ориентированной распределенной агентной платформы для моделирования задач сетевентрического управления региональной безопасностью. В рамках платформы реализованы разработанные модели, методы и технологии, что обеспечило формирование и функционирование мультиагентной информационной среды региональной безопасности.

10. Создан комплекс программных средств, реализующих мультиагентную распределенную информационную среду региональной безопасности с унифицированной точкой доступа, как результат синтеза разработанных моделей,

методов и технологий. Комплекс использован для решения ряда практических задач в области информационного обеспечения экономической, экологической, кадровой и инновационной безопасности Мурманской области.

Основные практические результаты работы:

- 1) разработана программная мультиагентная система информационной поддержки управления региональной безопасностью, обеспечивающая формирование виртуальных организационных структур управления региональной безопасностью;
- 2) создан комплекс системно-динамических моделей прогнозирования социально-экономического развития региона, позволяющий оценить и исследовать динамику показателей региональной безопасности;
- 3) разработана одноранговая агентная платформа для распределенного моделирования задач управления региональной безопасностью и поддержки функционирования программных агентов разнотипных субъектов управления безопасностью, построенная на базе сервис-ориентированной архитектуры;
- 4) создана прикладная онтология региональной безопасности, обеспечивающая интероперабельность компонентов информационных систем в составе единой виртуальной среды региональной безопасности;
- 5) разработана мультипредметная веб-ориентированная информационная система Ru-Arctic, реализующая унифицированную точку доступа к ресурсам и сервисам информационной среды региональной безопасности;
- 6) разработана профессиональная социальная сеть BarentsNet, обеспечивающая автоматизированный поиск субъектов управления региональной безопасностью и их виртуальное сотрудничество в распределенной информационной среде;
- 7) создан тренажерно-моделирующий комплекс «Виртуальный когнитивный центр» для поддержки управления региональной безопасностью, реализованный в виде гибридного облачного сервиса.

Полученные в работе теоретические и практические результаты представляют собой новый когнитивный подход к построению региональных распределенных информационных систем на основе сетевоцентрических мультиагентных виртуальных пространств, интегрированных в глобальную информационную инфраструктуру.

Разработанные в ходе диссертационного исследования модели, методы и программные средства обеспечивают повышение эффективности проблемно-ориентированной деятельности субъектов управления на всех этапах жизненного цикла угроз региональной безопасности. Это достигается за счет комплексной информационно-аналитической поддержки и координации процессов принятия решений на всех уровнях управления региональной безопасностью. Согласованность принимаемых решений в условиях децентрализованного управления и возможность гибкого совместного использования разнородных территориально-распределенных информационных и аналитических ресурсов обеспечивают единый регламент информационного взаимодействия субъектов управления безопасностью в рамках распределенной виртуальной среды. Разработки обеспечивают также автоматизацию рутинных операций по мониторингу потенциальных угроз региональной безопасности и формированию планов антикризисного управления безопасным развитием региона в упреждающем или оперативном режимах.

Дальнейшее развитие фундаментальных и прикладных исследований в рассматриваемой проблемной области целесообразно проводить в следующих основных направлениях:

- развитие и обобщение предложенного когнитивного подхода на основе разрабатываемой теории сетевентрического управления пространственно-распределенными сложными объектами различной природы и масштаба применительно к современной концепции приемлемого риска;
- разработка комплексной методологии моделирования многоуровневых сетевентрических систем управления сложными слабоструктуризованными динамическими системами для других актуальных приложений;
- разработка законодательных актов регионального уровня для эффективного внедрения тренажерно-моделирующих комплексов поддержки принятия решений в структуру систем регионального управления.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АЗ РФ	- Арктическая зона Российской Федерации
ВКЦ	виртуальный когнитивный центр
ВОСБ	- виртуальная организационная структура управления безопасностью
КМ	концептуальная модель
МАС	- мультиагентная система
МИАС	- мультиагентная информационно-аналитическая среда
РИС	- распределенная информационная система
РСЭС	- региональная социально-экономическая система
СК МАС	- ситуационно-коалиционная мультиагентная система
СКЦ	ситуационно-кризисный центр
СУБД	- система управления базами данных
РЦУКС	- региональный центр управления в кризисных ситуациях
ACL	- Agent Communication Language (язык межагентной коммуникации)
CMS	- Content Management System (система управления содержимым)
HLA	- High Level Architecture (базовая функционально-целевая архитектура систем распределенного компьютерного моделирования)
IaaS	- Infrastructure as a Service (модель обслуживания по принципу инфраструктура как сервис)
KIF	- Knowledge Interchange Format (язык / протокол обмена знаниями между интеллектуальными системами - агентами)
МОМ	Message-Oriented Middleware (программное обеспечение промежуточного слоя)
OWL	- Web Ontology Language (язык описания онтологий для Веб)
SOAP	- Simple Object Access Protocol (простой протокол доступа к объектам и обмена структурированными сообщениями в распределённой вычислительной среде)
WSDL	- Web Services Description Language (язык описания веб-сервисов и доступа к ним, основанный на языке XML)
XML	- eXtensible Markup Language (расширяемый язык разметки)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян, С.А. Интегральные индикаторы качества жизни населения: их построение и использование в социально-экономическом управлении и межрегиональных сопоставлениях / С.А. Айвазян. - М.: ЦЭМИ РАН, 2000. – 118 с.
2. Антипов, В.И. Антикризисное управление в регионе : препр. №22 за 2009 г. В.И. Антипов, Ф.Ф. Пащенко; Ин-т прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. - М.: ИПМ РАН, 2009. - 30 с.
3. Антипов, В.И. Расчет социально-экономических показателей регионов России в период мирового кризиса. Подготовка кадров, методическое, алгоритмическое и программно-технологическое обеспечение : препр. №11 за 2009 г. В.И. Антипов, Г.Г. Малинецкий, П.Л. Отоцкий, В.В. Шишов; Ин-т прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. - М.: ИПМ РАН, 2009. - 48 с.
4. Афонасова, М.А. Инновационная безопасность региона в контексте проблемы развития интеграционных процессов [Электронный ресурс] / М.А. Афонасова, А.В. Богомолова. - Режим доступа: <http://econf.rae.ru/article/8028>.
5. Бахтадзе, Н.Н. Виртуальные анализаторы (идентификационный подход) / Н.Н. Бахтадзе // Автоматика и телемеханика. - 2004. - №11. - С. 3-24.
6. Богатиков, В.Н. Подход к оценке состояний социально-экономических систем для целей управления их надежностью (на примере Арктического региона) / В.Н. Богатиков, И.Е. Кириллов, И.Н. Морозов // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - 4/2012(11). - Вып. 3. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2012. - С. 31-39.
7. Бурков, В.Н. Введение в теорию управления организационными системами / В.Н. Бурков, Н.А. Коргин, Д.А. Новиков. - М.: Либроком, 2009. - 264 с.
8. Бурков, В.Н. Модели и методы управления безопасностью / В.Н. Бурков, Е.В. Грацианский, С.И. Дзюбко, А.В. Щепкин. - М.: Синтег, 2001. - 139 с.
9. Бурмистрова, Т.В. Проблемы инновационной безопасности российской экономики [Электронный ресурс] / Т.В. Бурмистрова. - Режим доступа: [http://www.igpr.ru/library/burmistrova\\_tv\\_problemy\\_innovacionnoj\\_bezopasnosti\\_rossijskoj\\_jekonomiki#](http://www.igpr.ru/library/burmistrova_tv_problemy_innovacionnoj_bezopasnosti_rossijskoj_jekonomiki#).
10. Быстров, В.В. Разработка имитационных моделей кадровых потребностей базовых отраслей региональной экономики (на примере Мурманской области) / В.В.

Быстров, А.В. Маслобоев, С.Н. Малыгина, Д.Н. Халиуллина // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. - 2014. - Т. 17. - №1. - С. 30-39.

11. Вечканов, Г.С. Экономическая теория / Г.С. Вечканов. - СПб.: Питер, 2011. - 512 с.

12. Власов, В.С. Комплексный подход к проблеме обеспечения безопасности и устойчивого развития региона / В.С. Власов // Глобальная безопасность. - 2007. - №4.

13. Внукова, Л.Б. Факторы социально-политической напряженности в регионах [Электронный ресурс] / Л.Б. Внукова // Современные исследования социальных проблем. - 2011. - №4. - Режим доступа: <http://sisp.nkras.ru/issues/2011/4/vnukova.pdf>.

14. Возжеников, А.В. Внешняя сторона региональной безопасности в России / А.В. Возжеников, В.В. Стрельченко // Власть. - 2009. - №4. - С. 65-68.

15. Возжеников, А.В. Региональная безопасность: геополитические и геоэкономические аспекты (теория и практика) / А.В. Возжеников. - М.: Изд-во РАГС., 2006. - 260 с.

16. Гаврилова, Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. - СПб.: Питер, 2000. - 384 с.

17. Гафуров, А.Р. Сущность категории «энергетическая безопасность» и ее место в общей структуре безопасности / А.Р. Гафуров // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. - 2010. - Т. 13. - №1. - С. 178-182.

18. Герасимов, А.В. Экологическая безопасность современной России: политика обеспечения / А.В. Герасимов. - М.: Изд-во РУДН, 2008. - 201 с.

19. Глобальная безопасность: инновационные методы анализа конфликтов / А.И. Смирнов и др. - М.: Общество «Знание» России, 2011. - 272 с.

20. Городецкий, В.И. Многоагентные системы: современное состояние исследований и перспективы применения / В.И. Городецкий // Новости искусственного интеллекта. - 1996. - №1. - С. 44-59.

21. Городецкий, В.И. Самоорганизация и многоагентные системы. Часть 1. Модели многоагентной самоорганизации / В.И. Городецкий // Известия РАН. Теория и системы управления. - 2012. - №2. - С. 92-120.

22. Городецкий, В.И. Прикладные многоагентные системы группового

управления / В.И. Городецкий, О.В. Карсаев, В.В. Самойлов, С.В. Серебряков // Искусственный интеллект и принятие решений. - 2009. - №2. - С. 3-24.

23. Горохов, А.В. Имитационное моделирование развития арктических регионов РФ (на примере Мурманской области) с целью оценки экономических рисков / А.В. Горохов, М.В. Иванова, С.Н. Малыгина // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - 2/2011(5). - Вып.2. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2011. - С.151-155.

24. Горохов, А.В. Информационная технология оценки экономического риска сценариев развития моногорода на основе имитационного моделирования / А.В. Горохов, А.В. Маслобоев, К.И. Иванов // Качество. Инновации. Образование. - 2012. - №4(83). - С. 63-72.

25. Горохов, А.В. Технология формирования спецификаций среды имитационного моделирования задач управления / А.В. Горохов, А.В. Маслобоев, А.Г. Олейник // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. - 2013. - №3(19). - С. 55-70.

26. Горохов, А.В. Формализация понятия «диверсификация» для моногорода / А.В. Горохов, Е.Л. Цай // Информационные технологии в региональном развитии: концептуальные аспекты и модели. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. - С. 31-34.

27. Государственная программа РФ «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://government.ru/media/files/AtEYgOHutVc.pdf>.

28. Губанов, Д.А. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства / Д.А. Губанов, Д.А. Новикова, А.Г. Чхартишвили. - М.: Физматлит, 2010. - 228 с.

29. Диковицкий, В.В. Современные методы создания мультипредметных веб-ресурсов на базе визуализации и обработки формализованной семантики / В.В. Диковицкий, П.А. Ломов, Р.Р. Сепеда-Эррера, М.Г. Шишаев // Вестник Кольского научного центра РАН. - 2011. - №3. - С. 72-62.

30. Додин, Д.А. Устойчивое развитие Арктики (проблемы и перспективы) / Д.А. Додин. - М.: Наука, 2005. - 288 с.

31. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. - М.:

Наука, 1986. - 720 с.

32. Душкин, Д.Н. Сетецентрические технологии: эволюция, текущее положение и области дальнейших исследований / Д.Н. Душкин, М.П. Фархадов // Автоматизация и современные технологии. 2012. - №1. - С. 21-29.

33. Дыбова, М.А. Анализ направлений развития методов сетевого планирования и управления организационными системами / М.А. Дыбова, В.М. Колыхалин, С.А. Мишин // Вестник Воронежского института ФСИН России. - 2013. - №1. - С. 86-90.

34. Емельянов, С.В. Информационные технологии регионального управления / С.В. Емельянов, Ю.С. Попков, А.Г. Олейник, В.А. Путилов. - М.: Едиториал УРСС, 2004. - 400 с.

35. Ефремов, А.Ю. Сетецентрическая система управления – что вкладывается в это понятие? / А.Ю. Ефремов, Д.Ю. Максимов // Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения: Труды III Всероссийской конференции с международным участием. - М.: ИПУ РАН, 2012. - С 158–161.

36. Жебрун, Н.Н. Использование сервис-ориентированных архитектур при построении информационных систем / Н.Н. Жебрун // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. - 2005. - №10. - С.249-254.

37. Загребнев, С. Региональная безопасность в системе национальной безопасности Российской Федерации / С. Загребнев // Власть. - 2010.- №10. - С. 90-92.

38. Запорожцев, В.В. Нечеткая параметрическая координация в многоуровневой иерархической системе / В.В. Запорожцев, В.И. Новосельцев, А.Ю. Струков // Системы управления и информационные технологии. - 2012. - Т. 50. - №4. - С. 142-145.

39. Золотухина, А.В. Проблемы инновационного и устойчивого развития регионов / А.В. Золотухина. - М.: УРСС, 2010.- 240 с.

40. Игнатьев, М.Б. Модели и системы управления комплексными экспериментальными исследованиями / М.Б. Игнатьев, В.А. Путилов, Г.Я. Смольков. - М.: Наука, 1986. - 232 с.

41. Информационно-аналитическая система для принятия решений на основе сети распределенных ситуационных центров / А.П. Афанасьев и др. // Информационные технологии и вычислительные системы. - 2010. - №2. - С. 3-14.

42. Информационная безопасность систем организационного управления. Теоретические основы. В 2 т. / По ред. Н.А. Кузнецова, В.В. Кульбы. - М.: Наука, 2006. - Т. 1. - 496 с.
43. Калабин, А.Л. Количественная мера устойчивого развития региона / А.Л. Калабин, Б.В. Палюх, С.И. Честнодумов // Труды Института системного анализа РАН: Прикладные проблемы управления макросистемами. - 2010. - Т.59. - С. 193-196.
44. Калуцкая, А.П. Моделирование взаимодействия робота с внешней средой на основе пространственных логик и распространения ограничений / А.П. Калуцкая, В.Б. Тарасов // Программные продукты и системы. - 2010. - №2. - С. 174-178.
45. Карпов, Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю.Г. Карпов. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 400 с.
46. Когнитивные центры как информационные системы для стратегического прогнозирования / И.В. Десятов и др. // Информационные технологии и вычислительные системы. - 2011. - №1. - С. 65-81.
47. Контекстно-управляемая поддержка принятия решений в распределенной информационной среде / А.В. Смирнов и др. // Информационные технологии и вычислительные системы. - 2009. - №1. - С. 38-48.
48. Кузьмин, И.А. Распределенная обработка информации в научных исследованиях / И.А. Кузьмин, В.А. Путилов, В.В. Фильчаков. - Л.: Наука, 1991. - 304 с.
49. Кукин, А.А. Инновационная безопасность и качество жизни населения региона / А.А. Кукин, А.В. Багаряков, Н.Л. Никулина // Вестник ЮУрГУ. Серия: Экономика и менеджмент. – 2013. - Т. 7. - №4. - С. 20-25.
50. Кульба, В.В. Анализ устойчивости социально-экономических систем с использованием знаковых орграфов / В.В. Кульба, П.Б. Миронов, В.М. Назаретов // Автоматика и телемеханика. - 1993. - №7. - С. 130–137.
51. Кульба, В.В. Сценарный анализ в управлении информационной поддержкой процессов предупреждения и урегулирования конфликтных ситуаций в Арктике / В.В. Кульба, В.Л. Шульц, А.Б. Шелков, И.В. Чернов // Национальная безопасность. - 2013. - №1. - С.62-152.
52. Ларичев, О.И. Верbalный анализ решений / О.И. Ларичев / Под ред. А.Б. Петровского. - М.: Наука, 2006. - 181 с.

53. Ломов, П.А. Интеграция данных на основе онтологий для обеспечения информационной поддержки управленческих решений / П.А. Ломов, М.Г. Шишаев // Труды Института системного анализа РАН. - М.: Либроком, 2008. - Т. 39. - С.159-173.
54. Ломов, П.А. Интеграция онтологий с использованием тезауруса для осуществления семантического поиска / П.А. Ломов, М.Г. Шишаев // Информационные технологии и вычислительные системы. - 2009. - №3. - С. 49-59.
55. Макаров, А.А. Методы и модели согласования иерархических решений / А.А. Макаров. - М.: Наука, 1979. - 237 с.
56. Малинецкий, Г.Г. Когнитивный вызов и информационные технологии : препр. №46 за 2010 г. Г.Г. Малинецкий, С.К. Маненков, Н.А. Митин, В.В. Шишов; Ин-т прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. - М.: ИПМ РАН, 2010. - 28 с.
57. Малинецкий, Г.Г. Управление риском. Риск, устойчивое развитие, синергетика / Г.Г. Малинецкий. - М.: Наука, 2000. - 432 с.
58. Маслобоев, А.В. Архитектура и технологии формирования интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью развития региона / А.В. Маслобоев, М.Г. Шишаев // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. - 2011. - №6(76). - С. 98-104.
59. Маслобоев, А.В. Виртуальные когнитивные центры как интеллектуальные системы для информационной поддержки управления региональной безопасностью / А.В. Маслобоев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. - 2014. - №2(90). - С. 167-170.
60. Маслобоев, А.В. Гибридная архитектура интеллектуального агента с имитационным аппаратом / А.В. Маслобоев // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. - 2009. - Т. 12. - №1. - С. 113-125.
61. Маслобоев, А.В. Имитационное моделирование развития инновационных процессов на основе метода системной динамики и агентных технологий / А.В. Маслобоев // Качество. Инновации. Образование. - 2009. - №3(46). - С. 34-42.
62. Маслобоев, А.В. Информационная технология дистанционного формирования и управления моделями системной динамики / А.В. Маслобоев, А.Г. Олейник, М.Г. Шишаев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. - 2015. - Т. 15. - №4. - С. 748-755.

63. Маслобоев, А.В. Когнитивная технология динамического формирования и конфигурирования проблемно-ориентированных мультиагентных виртуальных пространств / А.В. Маслобоев // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. - 2013. - Т. 16.- №4. - С. 748-760.
64. Маслобоев, А.В. Концептуальная модель интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью развития региона / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. - 2011. - Т. 14. - №4. - С. 842-853.
65. Маслобоев, А.В. Метод автоматического построения и сравнения контекстов понятий онтологий для оценки их семантической близости / А.В. Маслобоев, П.А. Ломов, Н.М. Мавренков // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2010.- Вып. 1. - С. 41-46.
66. Маслобоев, А.В. Метод автоматизированного синтеза виртуальных организационных структур для задач управления региональной безопасностью / А.В. Маслобоев // Программные продукты и системы. - 2013. - №4(104). - С. 141-149.
67. Маслобоев, А.В. Метод комплексной оценки и анализа глобальной безопасности региональных социально-экономических систем на основе когнитивного моделирования / А.В. Маслобоев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. - 2013. - №5(87). - С. 154-164.
68. Маслобоев, А.В. Метод минимизации межузловых взаимодействий в одноранговых проблемно-ориентированных распределенных системах / А.В. Маслобоев, М.Г. Шишаев // Программные продукты и системы. - 2009. - №2(86). - С. 122-126.
69. Маслобоев, А.В. Механизмы коммуникации программных агентов в виртуальной бизнес-среде на основе локализации межагентных взаимодействий и распределения нагрузки / А.В. Маслобоев, М.Г. Шишаев // Информационные технологии в региональном развитии: Сб. науч. тр. ИИММ КНЦ РАН. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. - Вып. VIII. - С.10-15.
70. Маслобоев, А.В. Модели и алгоритмы взаимодействия программных агентов в виртуальной бизнес-среде развития инноваций / А.В. Маслобоев // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. - 2009. - Т. 12. - №2. - С. 224-234.

71. Маслобоев, А.В. Модели и программные средства информационной поддержки управления инновационным развитием Арктических регионов / А.В. Маслобоев // Качество. Инновации. Образование. - 2012. - №8(87). - С. 21-32.
72. Маслобоев, А.В. Модели и технологии информационной поддержки логистики инноваций / А.В. Маслобоев, М.Г. Шишаев // Инновации. - 2011. - №6(152). - С. 40-53.
73. Маслобоев, А.В. Многоуровневая рекуррентная модель иерархического управления комплексной безопасностью региона / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов, А.В. Сютин // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. - 2014. - №6(94). - С. 163-170.
74. Маслобоев, А.В. Мультиагентная информационно-аналитическая среда поддержки управления региональной безопасностью «Безопасный Виртуальный Регион» / А.В. Маслобоев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. - 2013. - №4(86). - С. 128-138.
75. Маслобоев, А.В. Мультиагентные модели и средства информационной поддержки управления кадровой безопасностью региональной экономики / А.В. Маслобоев // Качество. Инновации. Образование. - 2013. - №10(101). - С. 66-75.
76. Маслобоев, А.В. Мультиагентная система интеграции распределенных информационных ресурсов инноваций / А.В. Маслобоев, М.Г. Шишаев // Программные продукты и системы. - 2007. - №4(92). - С. 30-32.
77. Маслобоев, А.В. Мультиагентная технология и структура информационного мониторинга региональной безопасности в Арктической зоне России / А.В. Маслобоев // Искусственный интеллект: философия, методология, инновации: Сборник трудов VIII Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Часть 1., г. Москва, МИРЭА, 20-22 ноября 2014 г. / Под. ред. Е.А. Никитиной. - М.: «Радио и связь», 2014. - С. 103-108.
78. Маслобоев, А.В. Мультиагентная технология формирования виртуальных бизнес-площадок в едином информационно-коммуникационном пространстве развития инноваций / А.В. Маслобоев // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. - 2009. - №6(64). - С. 83-89.
79. Маслобоев, А.В. Обеспечение глобальной безопасности регионального развития (постановка задачи) / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов // Труды Института

системного анализа РАН: Прикладные проблемы управления макросистемами. - М.: Красанд, 2010. - Т. 59. - С. 29-44.

80. Маслобоев, А.В. Обеспечение информационной безопасности в открытых мультиагентных системах: проблемы и возможные решения / А.В. Маслобоев, И.С. Ефремов // Труды Института системного анализа РАН: Прикладные проблемы управления макросистемами. - М.: Красанд, 2010. - Т. 59. - С. 146-163.

81. Маслобоев, А.В. Одноранговая распределенная мультиагентная система информационно-аналитической поддержки инновационной деятельности / А.В. Маслобоев, М.Г. Шишаев // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. - 2009. - №4(62). - С. 108-114.

82. Маслобоев, А.В. Подходы к интеграции разнородных онтологий на основе формальных и неформальных методов оценки их семантической близости / А.В. Маслобоев, П.А. Ломов // Вести высших учебных заведений Черноземья. - 2010. - №4(22). - С. 42-46.

83. Маслобоев, А. В. Проблемно-ориентированная агентная платформа для создания полимодельных комплексов поддержки управления безопасностью региона / А.В. Маслобоев, А.В. Горохов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. - 2012. - №2(78). - С. 60-65.

84. Маслобоев, А.В. Проблемы информационной поддержки управления глобальной безопасностью Арктической зоны России / А.В. Маслобоев // Геополитика и безопасность. - 2013. - №3(23). - С. 60-71.

85. Маслобоев, А.В. Разработка моделей и программного обеспечения информационной поддержки региональных открытых децентрализованных инновационных структур : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18 : защищена 14.11.2007 : утв. 14.03.2008 / Маслобоев Андрей Владимирович. - Петрозаводск, 2007. - 187 с.

86. Маслобоев, А.В. Разработка социальной сети BarentsNet для задач информационного обеспечения безопасности и инновационного развития арктических регионов / А.В. Маслобоев // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. - 2014. - Т. 17. - №3. - С. 523-530.

87. Маслобоев, А.В. Распределенные системы и компьютерные технологии обработки информации : учебное пособие /А.В. Маслобоев, М.Г. Шишаев. - Апатиты: Изд-во КФ ПетрГУ, 2009. - 170 с.

88. Маслобоев, А.В. Реализация трансграничных ИТ-проектов в сфере информационного обеспечения комплексной безопасности развития арктических регионов: состояние и перспективы / А.В. Маслобоев // Информационные ресурсы России. - 2014. - №3(139). - С. 13-20.
89. Маслобоев, А.В. Состав и структура системно-динамической модели глобальной безопасности арктического региона / А.В. Маслобоев // Вести высших учебных заведений Черноземья. - 2013. - №4(34). - С. 43-53.
90. Маслобоев, А.В. Технология количественной оценки надежности многоагентных распределенных информационных систем на основе нечеткой Марковской модели / А.В. Маслобоев, В.Н. Богатиков // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. - 2012. - №5(81). - С. 94-105.
91. Медоуз, Д.Х. Пределы роста. 30 лет спустя / Д.Х. Медоуз, Й. Рандерс, Д.Л. Медоуз. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. - 342 с.
92. Мелихов, А.Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А.Н. Мелихов, Л.С. Бернштейн, С.Я. Коровин. - М.: Наука, 1990. - 272 с.
93. Месарович, М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, Я. Такахара. - М.: Мир, 1978. - 311 с.
94. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. - М.: Мир, 1973. - 343 с.
95. Михалевич, В.С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем / В.С. Михалевич, В.Л. Волкович. - М.: Наука, 1982. - 288 с.
96. Модели и методы анализа и синтеза сценариев развития социально-экономических систем: в 2-х кн. / Под ред. В.Л. Шульца, В.В. Кульбы. - М.: Наука, 2012. - Кн.1. - 304 с., Кн.2. - 358 с.
97. Моисеев, Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. - М.: Наука, 1981. - 488 с.
98. Мунин, П.И. Теория устойчивого развития: Информационные основы / П.И. Мунин. - М.: УРСС, 2009. - 312 с.
99. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. - М.: Наука, 1986. - 312 с.
100. Новиков, Д.А. Рефлексивные игры / Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили. - М.: СИНТЕГ, 2003. - 160 с.

101. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами 3-е изд., испр. и дополн. / Д.А. Новиков. - М.: Физматлит, 2012. - 604 с.
102. Новые технологии диагностики состояний и управления безопасностью промышленных процессов: методическое руководство для аспирантов и магистерских работ / Б.В. Палюх и др. - Тверь: Изд-во ТвГТУ, 2012. - 64 с.
103. Ньюкомер, Э. Веб-сервисы: XML, WSDL, SOAP и UDDI / Э. Ньюкомер. - СПб.: Питер, 2003. - 256 с.
104. Общероссийский классификатор видов экономической деятельности [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/ОКВЭД>.
105. Олейник, А. Концептуальное моделирование региональных систем / А. Олейник. - Издательский Дом LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. - 204 с.
106. Олейник, А.Г. Принципы организации информационной и аналитической поддержки стратегии регионального развития / А.Г. Олейник // Арктика: общество и экономика. - 2009. - №2. - С. 103-113.
107. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.scrf.gov.ru/documents/15/98.html>.
108. Официальный сайт специального программного обеспечения «Облачный сервис сетевой экспертизы» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://nsa-ltd.ru>.
109. Палюх, Б.В. Приложения метода разделения состояний к управлению технологической безопасностью на основе индекса безопасности / Б.В. Палюх, В.Н. Богатиков, В.В. Алексеев, А.Е. Пророков. - Тверь: Изд-во ТвГТУ, 2009. - 398 с.
110. Попов, Н.С. О некоторых результатах семантического анализа терминов теории безопасности / Н.С. Попов, Н.В. Лузгачева, В.А. Лузгачев // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. - 2010. - №4-6(29). - С. 30- 38.
111. Попов, Н.С. Формализация базовых понятий теории безопасности / Н.С. Попов, Н.В. Лузгачева // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. - 2010. - №10-12(31). - С. 29- 37.
112. Программный комплекс автоматизации синтеза имитационных моделей сложных динамических систем / В.В. Быстров, А.В. Маслобоев, А.В. Горохов // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. – Рег. № 17079 от

12.05.2011 г. (ОФЭРНиО); гос. рег. № 50201150635 от 12.05.2011 г. (ОФАП)

113. Программная система информационного обеспечения кадровой безопасности региона на основе управления качеством высшего образования / А.В. Маслобоев, В.В. Быстров, Ю.О. Самойлов // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. – Рег. № 17800 от 24.01.2012 г. (ОФЭРНиО); гос. рег. № 50201250140 от 24.01.2012 г. (ОФАП)

114. Программная система оценки экономических рисков сценариев развития моногорода / А.В. Маслобоев, К.И. Иванов, Д.Н. Халиуллина // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. – Рег. № 17250 от 04.07.2011 г. (ОФЭРНиО); гос. рег. № 50201150977 от 07.07.2011 г. (ОФАП)

115. Путилов, В.А. Системная динамика регионального развития / В.А. Путилов, А.В. Горохов. - Мурманск: НИЦ «Пазори», 2002. - 306 с.

116. Путилов, В.А. Технология автоматизированной разработки динамических моделей для поддержки принятия решений / В.А. Путилов, А.В. Горохов, А.Г. Олейник // Информационные ресурсы России. - 2004. - №1. - С. 30-33.

117. Радченко, Г.И. Распределенные вычислительные системы / Г.И. Радченко. - Челябинск: Фотохудожник, 2012. - 184 с.

118. Райков, А.Н. Сеть ситуационных центров – новая волна / А.Н. Райков // Научно-техническая информация. Сер. 2. - 2009. - №11. – С. 10-17.

119. Разработка многоагентной технологии управления контекстом в открытой информационной среде / А.В. Смирнов и др. // Труды СПИИРАН. - 2006. - Вып. 3. - Т. 1. - С. 33-61.

120. Расселл, С. Искусственный интеллект. Современный подход / С. Расселл, П. Норвиг. - М.: Вильямс, 2007. - 1408 с.

121. РТИ возглавил разработку Системы освещения обстановки в Арктике // Корпоративная газета ОАО «РТИ». - 2012. - №2(22). - С. 6.

122. Рябинин, И.А. Надёжность и безопасность сложных систем / И.А. Рябинин. - СПб.: Политехника, 2000. - 248 с.

123. Северцев, Н.А. Системный анализ и моделирование безопасности / Н.А. Северцев, В.К. Дедков. - М.: Высшая школа, 2006. - 462 с.

124. Северцев, Н.А. Системный анализ теории безопасности / Н.А. Северцев, А.В. Бецков. - М.: Изд-во МГУ «ТЕИС», 2009. - 457 с.

125. Сидоренко, В.Н. Системно-динамическое моделирование в среде POWERSIM: Справочник по интерфейсу и функциям / В.Н. Сидоренко. - М.: МАКС-ПРЕСС, 2001. - 159 с.
126. Система информационно-аналитической поддержки инновационной деятельности / А.В. Маслобоев, М.Г. Шишаев // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. – Рег. № 16197 от 23.09.2010 г. (ОФЭРНиО); гос. рег. № 50201001550 от 23.09.2010 г. (ОФАП)
127. Системный анализ проблемы устойчивого развития // Труды Института системного анализа РАН / под ред. Ю.А. Ростопшина.- М.: УРСС, 2009.- Т.42. - 288 с.
128. Смирнов, А.В. Децентрализованная интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении чрезвычайными ситуациями / А.В. Смирнов, А.М. Кашевник, Т.В. Левашова, Н.Г. Шилов // Материалы докладов XI национальной конференции по искусственному интеллекту (29 сентября - 3 октября 2008 г., г.Дубна, Россия). - М.: ЛЕНАНД, 2008. - Т. 2. - С. 253-261.
129. Смирнов, А.В. Модели контекстно-управляемых систем поддержки принятия решений в динамических структурированных областях / А.В. Смирнов, Т.В. Левашова, М.П. Пашкин // Труды СПИИРАН. - 2009. - Вып. 9. - С. 116-147.
130. Смирнов, А.В. Модели формирования коалиций кооперативных агентов: состояние и перспективы исследований / А.В. Смирнов, Л.Б. Шереметов // Искусственный интеллект и принятие решений. - 2011. - №1. - С.36-48.
131. Смирнов, А.В. Онтологии в системах искусственного интеллекта: способы построения и организации (часть 1) / А.В. Смирнов // Новости искусственного интеллекта. - 2002. - №1(49). - С. 3-13.
132. Смирнов, А.И. Глобальная безопасность и «мягкая сила 2.0»: вызовы и возможности для России / А.И. Смирнов, И.Н. Кохтюлина. - М.: ВНИИгеосистем, 2012. - 252 с.
133. Социальное положение и уровень жизни населения Мурманской области: Государственный комитет Российской Федерации по статистике, Мурманский областной комитет государственной статистики.- Мурманск, 2001.- 96 с.
134. Статистический ежегодник, 2008 / Федеральная служба государственной статистики, ТERRITORIALНЫЙ орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. - Мурмanskstat, 2009. - 247 с.

135. Статистический ежегодник, 2009 / Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. - Мурмanskstat, 2010. - 261 с.
136. Статистический ежегодник, 2010 / Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. - Мурмanskstat, 2011. - 246 с.
137. Статистический ежегодник, 2011 / Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. - Мурмanskstat, 2012. - 239 с.
138. Статистический ежегодник, 2012 / Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. - Мурмanskstat, 2013. - 242 с.
139. Статистический ежегодник, 2013 / Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. - Мурмanskstat, 2014. - 253 с.
140. Статистический сборник «Мурманская область в цифрах», 2008 / Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. - Мурманск, 2009. - 155 с.
141. Статистический сборник «Мурманская область в цифрах», 2009 / Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. - Мурманск, 2010. - 146 с.
142. Статистический сборник «Мурманская область в цифрах», 2010 / Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. - Мурманск, 2011. - 143 с.
143. Статистический сборник «Мурманская область в цифрах», 2011 / Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. - Мурманск, 2012. - 140 с.
144. Статистический сборник «Мурманская область в цифрах», 2012 /

Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. - Мурманск, 2013. - 137 с.

145. Статистический сборник «Мурманская область в цифрах», 2013 / Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. - Мурманск, 2014. - 140 с.

146. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.scrf.gov.ru/documents/99.html>.

147. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года [Электронный ресурс]. - Режим доступа:

<http://government.ru/media/files/2RpSA3sctElhAGn4RN9dHrtzk0A3wZm8.pdf>.

148. Сухорослов, О.В. Интеграция вычислительных приложений и распределенных ресурсов на базе облачной программной платформы / О.В. Сухорослов // Программные системы: теория и приложения: электрон. научн. журн. - 2014. - Т. 5. - №4(22). - С. 171-182.

149. Сухорослов, О.В. Пиринговые системы: концепция, архитектура и направления исследований / О.В. Сухорослов // Труды Института системного анализа РАН: Проблемы вычислений в распределенной среде: прикладные задачи. - М.: РОХОС, 2004.- С. 7-43.

150. Тараков, В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В.Б. Тараков. - М.: Эдиториал УРСС, 2002. - 352 с.

151. Тейбор, Р. Реализация XML Web-служб на платформе Microsoft .NET / Р. Тейбор. - М.: Вильямс, 2002. - 464 с.

152. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://murmanskstat.gks.ru>.

153. Турчинов, А.И. Образование и кадровая безопасность как факторы устойчивого развития России в условиях глобализации / А.И. Турчинов // Известия Российской академии образования. - 2012. - №2. - С. 5-12.

154. Управление рисками и безопасностью / Под. ред. Д.С. Черешкина // Труды Института системного анализа РАН. - М.: УРСС, 2009. - Т. 41. - 288 с.
155. Ускова, Т.В. Управление устойчивым развитием региона / Ускова Т.В. - Вологда: ИСЭРТ РАН, 2009. - 301 с.
156. Фокин, Ю.Е. Киркенесская Декларация о сотрудничестве в Баренцевом/Евро-арктическом регионе: взгляд из России 20 лет спустя / Ю.Е.Фокин, А.И.Смирнов. - М.: ВНИИгеосистем 2012. - 88 с.
157. Форрестер, Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер. - М.: Наука, 1978. - 165 с.
158. Фридман, А.Я. Координация иерархических организационных систем: игровой и градиентный подходы / А.Я. Фридман, О.В. Фридман, В.А. Зеленцов // Проблемы теории и практики управления. - 2011. - №6. - С. 14–22.
159. Фридман, О.В. Применение нейронных сетей для детектирования источника возмущений в сетевых структурах / О.В. Фридман, А.Я. Фридман // Труды Института системного анализа РАН. - 2013. - Т. 63. - №2. - С. 45-53.
160. Хоффман, Р. Жизнь как стартап. Страй карьеру по законам Кремниевой долины / Р. Хоффман, Б. Касноча. - М.: Альпина Паблишер, 2012. - 240 с.
161. Цыгичко, В.Н. Прогнозирование социально-экономических процессов. Изд.3-е. перераб. и доп. / В.Н. Цыгичко. - М.: Либроком, 2009. - 240 с.
162. Цыгичко, В.Н. Руководителю о принятии решений. Изд. 3-е перераб и доп. / В.Н. Цыгичко. - М.: Красанд, 2010. - 352 с.
163. Цыгичко, В.Н. Синтез иерархических систем управления. Теория и практика. / В.Н. Цыгичко, А.Ю. Попович. - М.: Красанд, 2011. - 256 с.
164. Швецов, А.Н. Распределенные интеллектуальные информационные системы / А.Н. Швецов, С.А. Яковлев.- СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003.- 318 с.
165. Шегельман, И.Р. Экономическая безопасность : учебное пособие / И.Р. Шегельман. - Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2005. - 292 с.
166. Шереметов, Л.Б. Децентрализованное управление адаптивными сетями поставок на основе теории коллективного интеллекта и агентной технологии. Часть 1: Модель сети поставок / Л.Б. Шереметов // Информационно-управляющие системы. - 2009. - №4. - С. 13-20.
167. Шереметов, Л.Б. Семантическое расширение сервисных описаний /

Шереметов Л.Б., Санчес К. // Информационные технологии и вычислительные системы. - 2009. - №2. - С. 51-64.

168. Шишаев, М.Г. Имитационное моделирование рыночной диффузии инноваций / М.Г. Шишаев, С.Н. Малыгина, А.В. Маслобоев // Инновации. - 2009. - №11(133). - С. 82-86.

169. Шишаев, М.Г. Использование концепции «User as an expert» в разработке мультипредметных веб-ресурсов, основанных на онтологиях / М.Г. Шишаев, П.А. Ломов, В.В. Диковицкий // Труды Института системного анализа РАН. - 2012. - Т. 62. - Вып. 3. - С. 40-47.

170. Шишаев, М.Г. Метод генерализации бизнес-предложений в системе информационной поддержки инноваций / М.Г. Шишаев, А.В. Маслобоев // Информационные технологии и вычислительные системы. - 20010. - №2. - С. 28-42.

171. Шишаев, М.Г. Рекуррентная агентная модель продвижения новой образовательной услуги / М.Г. Шишаев, А.С. Шемякин, А.В. Маслобоев // Системный анализ и информационные технологии: Труды II Международной конференции САИТ-2007 в 2 т. - М.: Изд-во ЛКИ, 2007. - Т. 1. - С. 285-287.

172. Шишаев, М.Г. Стохастическая имитационная модель динамики одноранговой коммуникационной сети / М.Г. Шишаев, А.С. Шемякин, С.С. Строцкий, А.В. Кундозерова // Информационные технологии в региональном развитии. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2009. - Вып. IX. - С. 67-69.

173. Шишаев, М.Г. Технология поддержки распределенного адресного реестра в одноранговых системах с неявной иерархической организацией / М.Г. Шишаев // Информационные технологии в региональном развитии. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. - Вып. VIII. - С. 53-56.

174. Шориков, А.Ф. Методология моделирования многоуровневых систем: иерархия и динамика / А.Ф. Шориков // Прикладная информатика. - 2006. - №1. - С. 136-141.

175. Шпаговский, Ю.Г. Чрезвычайные ситуации как объект правового регулирования / Ю.Г. Шпаговский // Проблемы безопасности в ЧС. - 2004. - №1. - С. 85-93.

176. Шульц, В.Л. Диагностика и сценарный анализ внешних угроз региональной безопасности / В.Л. Шульц, В.В. Кульба, А.Б. Шелков, И.В. Чернов //

Национальная безопасность/nota bene. - 2014. - №5. - С. 626-664.

177. Шульц, В.Л. Управление региональной безопасностью на основе сценарного подхода / В.Л. Шульц, В.В. Кульба, А.Б. Шелков, И.В. Чернов. - М.: ИПУ РАН, 2014. - 163 с.

178. Юдицкий, С.А. Триадный подход к моделированию систем сетецентрического управления / С.А. Юдицкий, П.Н. Владиславлев, Д.С. Точ // Управление большими системами. - 2010. - №28. - С. 24–39.

179. Юсупов, Р.М. Наука и национальная безопасность. 2-е Изд. / Р.М. Юсупов. - СПб.: Наука, 2011. - 369 с.

180. Яковлев, С.Ю. Современные тенденции в управлении безопасностью сложных систем / С.Ю. Яковлев // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. - 4/2013(17). - Вып. 4. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2013. - С.29-39.

181. Ямалов, И.У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций / И.У. Ямалов. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. - 288 с.

182. Aberer, K. Peer-to-peer information systems: concepts and models, state-of-the-art, and future systems [Электронный ресурс] / K. Aberer, M. Hauswirth. - Режим доступа: <http://lsirpeople.epfl.ch/hauswirth/papers/ICDE2002-Tutorial.pdf>.

183. A Free Open-source Ontology Editor for Building Intelligent Systems [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://protege.stanford.edu>.

184. AgentBuilder – an integrated software toolkit that allows software developers to quickly develop intelligent software agents and agent-based applications [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.agentbuilder.com>.

185. Blinc, R. Sustainable development and global security / R. Blinc, A. Zidans̄ek, I. Šlaus // Proceedings of the Third Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems Energy. - 2007. - Vol. 32/ - Iss. 6. - pp. 883-890.

186. Bouguerra, M. The State of the Art of Software Agents: Technical Report NUIG-IT-270902 [Электронный ресурс] / M. Bouguerra, J. Duggan. - Режим доступа: <http://www.it.nuigalway.ie>.

187. Breitman, K.K. Semantic Web: Concepts, Technologies and Applications / K.K. Breitman, M.A. Casanova, W. Truszkowski. - Springer Science, 2007. - 327 p.

188. Bystrov, V. The Information Technology of Multi-model Forecasting of the Regional Comprehensive Security / V. Bystrov, S. Malygina, D. Khaliullina // Automation Control Theory Perspectives in Intelligent Systems. Proceedings of the 5th Computer Science On-line Conference 2016 (CSOC2016). - 2016. - Vol. 3. - pp. 475-482.
189. Cognitive Agent Architecture (Cougaar) Open Source Project site [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://cougaar.org>.
190. Deloach, S.A. O-MaSE: a customisable approach to designing and building complex, adaptive multi-agent systems / S.A. Deloach, J.C. Garcia-Ojeda // International Journal of Agent-Oriented Software Engineering. - 2010. - Vol. 4. - Iss. 3. - pp. 244-280.
191. DeTombe, D.J. Global Safety / D.J. DeTombe // Pesquisa Operacional. - 2010. - Vol. 30. - No. 2. - pp. 387-404.
192. Findeisen, W. Control and Coordination in Hierarchical Systems / W. Findeisen. - John Wiley & Sons, 1980. - 467 p.
193. Forrester, J.W. System dynamics - a personal view of the first fifty years / J.W. Forrester // System Dynamics Review. - 2007. - Vol. 23. - Iss. 2-3. - pp. 345-358.
194. Forrester, J.W. System dynamics - the next fifty years / J.W. Forrester // System Dynamics Review. - 2007. - Vol. 23. - Iss. 2-3. - pp. 359-370.
195. Hayes-Roth, B. A Blackboard Architecture for Control / B. Hayes-Roth // Artificial Intelligence. - 1985. - Vol. 26. - pp. 251-321.
196. Heflin, J. An Introduction to the OWL Web Ontology Language [Электронный ресурс] / J. Heflin. – Режим доступа: <http://www.cse.lehigh.edu/~heflin/IntroToOWL.pdf>.
197. Jackson, M.O. Social and Economic Networks / M.O. Jackson. - Princeton: Princeton University Press, 2010. - 520 p.
198. Jennings, N. Agent Technology: Foundations, Applications, and Markets / N. Jennings, M. Wooldridge. - Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998. - 325 p.
199. Kaplan, R.S. Using the Balanced Scorecard as a Strategic Management System / R.S. Kaplan, D.P. Norton // Harvard Business Review. - 1996. - Vol. 74. - No. 1. - pp. 75–85.
200. Larichev, O.I. Decision Support Systems for Illstructured Problems: Requirements and Constraints / O.I. Larichev, A.B. Petrovsky // Organizational Decision Support Systems. - Amsterdam, North-Holland, 1988. - pp. 247-257.
201. Linthicum, D. SOA - Loosely Coupled...What? [Электронный ресурс] / D. Linthicum // SOA World Magazine. - Режим доступа: <http://soa.sys-con.com/node/439723>.

202. Liu, Ch.-H. A Group Agent Architecture Based on FIPA and Ontology: A novel approach to build an agent system in multiple abstraction layers / Ch.-H. Liu, J. J.-Y. Chen. - LAP Lambert Academic Publishing, 2012. - 64 p.
203. Mamei, M. Co-Fields: A Physically Inspired Approach to Motion Coordination / M. Mamei, F. Zambonelli, L. Leonardi // IEEE International Journal of Pervasive Computing. - 2004. - Vol. 3. - No. 2. - pp. 52-61.
204. Sallam, A. Integration of Web Services and Agent technologies: Web Services supervision system based on JADE / A. Sallam. - LAP Lambert Academic Publishing, 2011. - 96 p.
205. Sarbazi-Azad, H. Large Scale Network-Centric Distributed Systems / H. Sarbazi-Azad, A.Y. Zomaya. - John Wiley & Sons, 2013. - 760 p.
206. Stoilov, T. Goal and predictive coordination in two level hierarchical systems / T. Stoilov, K. Stoilova // International Journal of General Systems. - 2008. - Vol. 37. - No. 2. - pp. 181-213.
207. Strehl, A. Impact of similarity measures on web-page clustering / A. Strehl, J. Ghosh, R. Mooney // In Proc. AAAI Workshop on AI for Web Search, 2000. - pp. 58-64.
208. The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications. 2<sup>nd</sup> Edition / In F. Baader, D.L. McGuinness, D. Nardi, P.F. Patel-Schneider Eds.- Cambridge University Press, 2010. – 624 p.
209. Watkins, C. Learning from Delayed Rewards. PhD Dissertation / C. Watkins. - Cambridge University, 1989. – 234 p.
210. Wilensky, U. An introduction to agent-based modeling: Modeling natural, social and engineered complex systems with NetLogo / U. Wilensky, W. Rand. - Cambridge, MA: MIT Press. 2015. – 504 p.
211. Wolpert, D. An introduction to collective intelligence. Technical Report NASA-ARCIC-99-63 / D. Wolpert, T. Kagan. - NASA, Ames Research Center, 1999. - 88 p.
212. Wooldridge, M. An Introduction to MultiAgent Systems. Second Edition / M. Wooldridge.- John Wiley & Sons, 2009.- 484 p.
213. Youngblood, B. GeoServer Beginner's Guide / B. Youngblood, S. Iacovella. - Packt Publishing, 2012. - 350 p.
214. Zgurovsky, M. Global simulation of quality and security of human life / M. Zgurovsky // Romanian Journal of Economic Forecasting. - 2009. – No. 3. - pp. 5-21.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### **A. Перечень показателей региональной безопасности**

Обозначения и сокращения в таблицах 1–7:

- тип критерия: КОЛ – количественный, КАЧ – качественный;
- источник данных: СТАТ – материалы государственной статистики, ЭО – экспертная оценка.

Таблица 1 - Базовые показатели социально-экономического развития региона

<b>Показатели</b>		<b>Взаимосвязь</b>	<b>Тип критерия</b>	<b>Источник данных</b>
Валовой региональный продукт (ВРП)	Выручка (нетто) от продажи товаров (продукции, работ, услуг)	↑	КОЛ	СТАТ
	Себестоимость проданных товаров (продукции, работ, услуг)	↓	КОЛ	СТАТ
	Среднедушевые денежные доходы населения	↑	КОЛ	СТАТ
	Среднегодовая численность занятых в экономике	↑	КОЛ	СТАТ
	Инвестиции в основной капитал	↑	КОЛ	СТАТ
Доходы населения	ВРП	↑	КОЛ	СТАТ
	Среднегодовая заработка плата	↑	КОЛ	СТАТ
	Уровень безработицы	↓	КОЛ	СТАТ
Численность населения	Миграционный прирост	↑	КОЛ	СТАТ
	Естественный прирост	↑	КОЛ	СТАТ
	Уровень безработицы	↓	КОЛ	СТАТ
	Уровень социальной обеспеченности	↑	КАЧ	ЭО
	Количество предприятий (рабочих мест)	↑	КОЛ	СТАТ
Доходы бюджета	ВРП	↓	КОЛ	СТАТ
	Среднегодовая заработка плата	↓	КОЛ	СТАТ
	Среднегодовая численность занятых в экономике	↓	КОЛ	СТАТ
	Социальное потребление	↑	КОЛ	СТАТ
	Федеральная финансовая помощь	↑	КОЛ	СТАТ

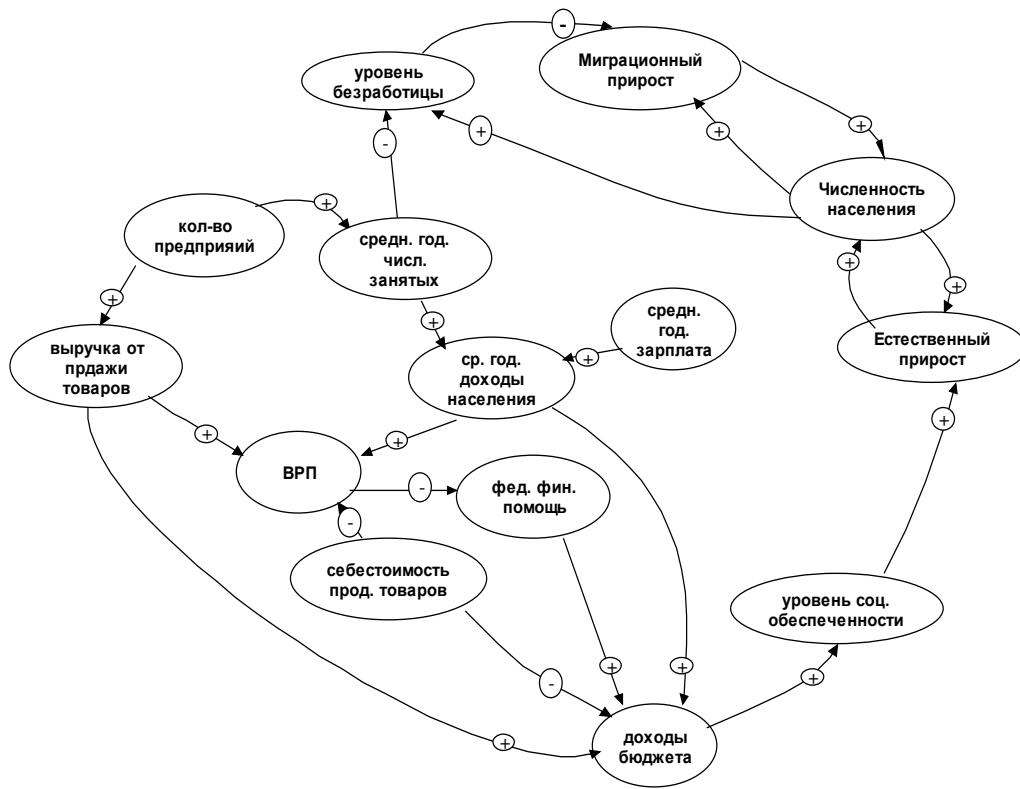


Рисунок 1 - Диаграмма взаимосвязей базовых показателей социально-экономического развития региона

Таблица 2 - Показатели внешних угроз региональной безопасности (глобальный уровень), определяющие состояние и динамику развития внешней среды

№	Наименование	Тип критерия	Источник данных
1.	Уровень развития кризисных явлений в мировой экономической системе	КАЧ	ЭО
2.	Уровень колебания мировых цен на энергоносители, экспортные и импортные товары	КОЛ	СТАТ
3.	Уровень колебания курса национальной валюты	КОЛ	СТАТ
4.	Уровень инвестиционной активности (в реальный сектор экономики)	КОЛ	СТАТ
5.	Объем зарубежного финансирования НКО, террористических и экстремистских организаций	КОЛ	СТАТ
6.	Вероятность экологических катастроф за счет нанесения вреда экосистеме со стороны соседних государств и транснациональных корпораций	КОЛ	ЭО
7.	Интенсивность информационных воздействий зарубежных компаний и СМИ, направленных на дестабилизацию социальной обстановки и разжигание международных конфликтов	КАЧ	ЭО

Таблица 3 - Показатели внешних угроз региональной безопасности (федеральный уровень), определяющие эффективность управления региональным развитием на федеральном уровне

<b>№</b>	<b>Наименование</b>	<b>Тип критерия</b>	<b>Источник данных</b>
1.	Эффективность законодательного обеспечения процессов управления региональным развитием	КАЧ	ЭО
2.	Эффективность механизмов исполнения действующего законодательства	КАЧ	ЭО
3.	Уровень согласованности федеральных и региональных законов	КАЧ	ЭО
4.	Уровень коррупции административного государственного аппарата	КАЧ	ЭО
5.	Уровень эффективности системы бюджетирования регионов	КАЧ	ЭО
6.	Темпы роста тарифов (ЖКХ, энергетика, транспорт и т.д.)	КОЛ	СТАТ
7.	Уровень благоприятности инвестиционного климата и объемов внешних инвестиций	КАЧ	ЭО
8.	Уровень зависимости от внешних кредитов	КАЧ	ЭО
9.	Объемы «утечки» капиталов	КОЛ	СТАТ
10.	Уровень налогообложения	КОЛ	СТАТ
11.	Эффективность реализации федеральных и региональных целевых программ социально-экономического развития и результативность реализуемых социально-значимых проектов	КАЧ	ЭО
12.	Качество информационного обеспечения процессов подготовки и принятия решений (оперативность, достоверность, полнота информации и т.п.)	КАЧ	ЭО

Таблица 4 - Показатели внутренних угроз (региональный уровень), характеризующие потенциал развития региона

<b>№</b>	<b>Наименование</b>	<b>Тип критерия</b>	<b>Источник данных</b>
1.	Географическое положение	КАЧ	ЭО
2.	Природно-климатические условия	КАЧ	ЭО
3.	Численность и плотность населения на территории региона	КОЛ	СТАТ
4.	Природный ландшафт	КАЧ	ЭО
5.	Гидрографические условия	КОЛ/КАЧ	СТАТ/ЭО
6.	Состояние окружающей среды	КАЧ	ЭО
7.	Природно-ресурсный потенциал (земельные ресурсы для сельхозпроизводства, лесное хозяйство, водные ресурсы и т.п.)	КОЛ/КАЧ	СТАТ/ЭО
8.	Ресурсно-сырьевой потенциал (характеристики разведанных и освоенных месторождений полезных ископаемых, уровень балансовых запасов основных видов природных ресурсов)	КОЛ/КАЧ	СТАТ/ЭО
9.	Транспортный потенциал (густота автомобильных дорог с твердым покрытием, протяженность железнодорожных путей, развитость аэроромной сети и др.)	КОЛ/КАЧ	СТАТ/ЭО
10.	Производственно-технологический потенциал (совокупный результат хозяйственной деятельности, основные производственные фонды и их износ, сальнированный финансовый результат реального сектора экономики, удельный вес убыточных предприятий и т.п.)	КОЛ/КАЧ	СТАТ/ЭО
11.	Энергетический потенциал (генерирующие мощности, распределительные сети и т.п.)	КОЛ	СТАТ
12.	Инвестиционный потенциал (инвестиции в основной капитал)	КОЛ	СТАТ
13.	Инновационный потенциал (исследовательский потенциал, патентная активность, инновационная деятельность предприятий и включенность в федеральные научно-технические программы)	КОЛ/КАЧ	СТАТ/ЭО
14.	Кадровый потенциал (наличие профессионально обученной рабочей силы и квалифицированного инженерно-технического персонала)	КОЛ/КАЧ	СТАТ/ЭО
15.	Финансовый потенциал (общий баланс финансовых ресурсов, финансовая обеспеченность, дефицит и профицит бюджета на душу населения, региональные заимствования и долг, размеры налоговой базы, прибыльность предприятий, структура финансово-кредитной системы)	КОЛ/КАЧ	СТАТ/ЭО

Таблица 5 - Показатели внутренних угроз (региональный уровень), характеризующие качество жизни населения

№	Наименование	Тип критерия	Источник данных
1.	Показатели демографического развития (рождаемость, смертность, продолжительность жизни и др.)	КОЛ	СТАТ
2.	Уровень физического здоровья	КАЧ	ЭО
4.	Уровень образования и культуры (численность учащихся в общеобразовательных учреждениях и вузах и т.п.)	КОЛ/КАЧ	СТАТ/ЭО
5.	Обеспеченность объектами инфраструктуры (социальными, инженерными, информационными, транспортными и т.д.)	КОЛ/КАЧ	СТАТ/ЭО
6.	Уровень квалификации (кадровый потенциал)	КАЧ	ЭО
7.	Санитарно-гигиенические и экологические условия жизни	КОЛ/КАЧ	СТАТ/ЭО
8.	Уровень защиты здоровья населения (качество и доступность медицинских услуг, численность медперсонала, число больничных коек, мощность врачебных амбулаторно-поликлинических учреждений на 10 тыс. чел. и т.п.)	КОЛ/КАЧ	СТАТ/ЭО
9.	Уровень общественной безопасности	КОЛ/КАЧ	СТАТ/ЭО

Таблица 6 - Показатели внутренних угроз (региональный уровень), характеризующие уровень жизни населения

№	Наименование	Тип критерия	Источник данных
1.	Среднедушевые доходы населения (в том числе отношение среднедушевых доходов к прожиточному минимуму, доля населения, получающего доход ниже прожиточного минимума и т.п.)	КОЛ	СТАТ
2.	Индекс покупательной способности населения	КОЛ	СТАТ
3.	Уровень обеспеченности жильем	КОЛ	СТАТ
4.	Уровень занятости населения (уровень безработицы)	КОЛ	СТАТ
5.	Уровень доходов населения	КОЛ	СТАТ
6.	Соотношение минимальной и средней заработной платы	КОЛ	СТАТ
7.	Доля населения, живущего за чертой бедности	КОЛ	СТАТ
8.	Показатели стоимости жизни и уровня потребительских цен	КОЛ	СТАТ
9.	Уровень социального обеспечения	КОЛ	СТАТ
10.	Показатели дифференциации населения	КОЛ	СТАТ

Таблица 7 - Показатели внутренних угроз (региональный уровень), характеризующие уровень социально-экономического развития региона

<b>№</b>	<b>Наименование</b>	<b>Тип критерия</b>	<b>Источник данных</b>
1.	Объем валового регионального продукта (на душу населения)	КОЛ	СТАТ
2.	Объем инвестиций в основной капитал (на душу населения)	КОЛ	СТАТ
3.	Текущая финансовая (бюджетная) обеспеченность (дефицит или профицит бюджета и т.п.)	КОЛ	СТАТ
4.	Объем финансовой задолженности	КОЛ	СТАТ
5.	Плотность инвестиций	КОЛ	СТАТ
6.	Объем налоговых поступлений	КОЛ	СТАТ
7.	Объем траншей федерального бюджета	КОЛ	СТАТ
8.	Объем сельскохозяйственного производства	КОЛ	СТАТ
9.	Объем строительного производства	КОЛ	СТАТ
10.	Объем промышленного производства	КОЛ	СТАТ
11.	Уровень развития инфраструктуры, средств коммуникации и связи	КАЧ	ЭО
12.	Душевой оборот розничной торговли	КОЛ	СТАТ
13.	Душевой объем платных услуг	КОЛ	СТАТ
14.	Удельный вес малых и средних предприятий	КОЛ	СТАТ
15.	Размер внешнеторгового сальдо	КОЛ	СТАТ
16.	Доля сырьевого сектора экономики	КОЛ	СТАТ
17.	Уровень зависимости от импорта по продуктам питания и предметам первой необходимости	КАЧ	ЭО

## **Б. Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ**

- 1) Маслобоев А.В., Шишаев М.Г. Система информационно-аналитической поддержки инновационной деятельности // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. – Рег. № 16197 от 23.09.2010 г. (ОФЭРНиО); гос. рег. № 50201001550 от 23.09.2010 г. (ОФАП)



- 2) Быстров В.В., Маслобоев А.В., Горохов А.В. Программный комплекс автоматизации синтеза имитационных моделей сложных динамических систем // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. – Рег. № 17079 от 12.05.2011 г. (ОФЭРНиО); гос. рег. № 50201150635 от 12.05.2011 г. (ОФАП)



- 3) Горохов А.В., Малыгина С.Н., Маслобоев А.В. Программная система поддержки создания концептуальных моделей сложных систем // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. – Рег. № 17144 от 31.05.2011 г. (ОФЭРНиО); гос. рег. № 50201150709 от 31.05.2011 г. (ОФАП)



- 4) Маслобоев А.В., Иванов К.И., Халиуллина Д.Н. Программная система оценки экономических рисков сценариев развития моногорода // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. – Рег. № 17250 от 04.07.2011 г. (ОФЭРНиО); гос. рег. № 50201150977 от 07.07.2011 г. (ОФАП)



- 5) Маслобоев А.В., Быстров В.В., Самойлов Ю.О. Программная система информационного обеспечения кадровой безопасности региона на основе управления качеством высшего образования // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. – Рег. № 17800 от 24.01.2012 г. (ОФЭРНиО); гос. рег. № 50201250140 от 24.01.2012 г. (ОФАП)



## **В. Акты внедрения**

1) Справка об использовании результатов докторской диссертационной работы  
Министерством экономического развития Мурманской области



### **МИНИСТЕРСТВО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

пр.Ленина, д.75, г.Мурманск, 183006,  
т. (815-2) 48-62-32, факс (815-2) 48-62-22, e-mail: [econom@gov-murman.ru](mailto:econom@gov-murman.ru)

#### **СПРАВКА**

об использовании результатов диссертационной работы  
на соискание ученой степени доктора технических наук  
по специальности 05.13.10 – «Управление в социальных и экономических  
системах» (технические науки)  
**Маслобоева Андрея Владимировича**

Основные положения и результаты диссертационной работы А.В. Маслобоева «Исследование и разработка моделей и методов информационной поддержки управления региональной безопасностью (на примере Мурманской области)» использованы Министерством экономического развития Мурманской области в проведении оценки результативности реализации рекомендаций комплексных инвестиционных планов развития монопрофильных муниципальных образований Мурманской области.

Министр



**Е.М. Тихонова**

2) Акт об использовании результатов докторской диссертационной работы  
Министерством природных ресурсов и экологии Мурманской области

**МИНИСТЕРСТВО  
ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ  
И ЭКОЛОГИИ  
МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ  
(МПР МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ)**

пр. Кольский, д. 1, г. Мурманск, 183032  
тел.(815 2) 486 851, 486 852, факс (815 2) 270 171,  
E-mail: [mpr@gov-murman.ru](mailto:mpr@gov-murman.ru), [forest@com.mels.ru](mailto:forest@com.mels.ru)  
ОКПО 76972668, ОГРН 1055100201815,  
ИНН/КПП 5190136260/519001001

от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
на \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**АКТ  
о практической реализации результатов диссертационной работы  
на соискание ученой степени доктора технических наук  
Маслобоева Андрея Владимировича**

Данным актом подтверждается, что результаты докторской диссертационной работы Маслобоева А.В. «Исследование и разработка моделей и методов информационной поддержки управления региональной безопасностью (на примере Мурманской области)» используются в практической деятельности Министерства природных ресурсов и экологии Мурманской области для координации и автоматизации процессов принятия управленческих решений в сфере промышленно-экологической безопасности региона.

Разработки были апробированы и использованы при решении задач совершенствования структуры и средств мониторинга показателей экологической безопасности региона; задач координации сил и средств, участвующих в реализации планов ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов с учетом внешних (гидрометеорологических) факторов; задач оценки экологических ущербов антропогенного воздействия горнoprомышленных производств на окружающую среду.

В частности, прошли апробацию следующие результаты диссертационной работы:

1. Многоуровневая иерархическая рекуррентная модель управления региональной безопасностью, обеспечивающая координацию процессов децентрализованного принятия решений на всех уровнях управления экологической безопасностью региона.
2. Метод автоматизированного синтеза мультиагентных моделей и спецификаций виртуальных организационных структур управления региональной безопасностью, обеспечивающий адаптивное моделирование поведения субъектов управления экологической безопасностью в условиях возникновения разнородных чрезвычайных и кризисных ситуаций, а также информационную поддержку их деятельности в сфере реализации экологических инновационных проектов и программ природоохранных мероприятий.
3. Модельный и методический инструментарий индикаторной оценки социальных, экономических, экологических и других составляющих региональной безопасности, обеспечивающий возможность оптимизации и согласования показателей экологической безопасности на основе формирования интегрального показателя региональной безопасности в виде матрицы показателей и ее анализа.
4. Программная мультиагентная система информационной поддержки управления экологической безопасностью, являющаяся составной частью информационной инфраструктуры региональной безопасности.
5. Гибридный облачный сервис «Виртуальный когнитивный центр» для поддержки управления региональной безопасностью в части ее экологической составляющей.
6. Прикладная онтология региональной безопасности, обеспечивающая интероперабельность мониторинговых информационно-аналитических систем обеспечения экологической безопасности региона
7. Программная мультиагентная система информационной поддержки инновационной деятельности в сфере обеспечения промышленно-экологической безопасности.

Разработанные Маслобоевым А.В. средства информационно-аналитической поддержки повышают эффективность процесса выработки и реализации управленческих решений в сфере промышленной и экологической безопасности в условиях децентрализованного управления и влияния динамично изменяющихся угроз на состояние экосистем региона.

Проблема повышения эффективности управления устойчивым региональным развитием, на решение которой направлены разработки Маслобоева А.В., в том числе в части экологической безопасности, является крайне актуальной для экологии и экономики природопользования Мурманской области в силу ряда причин: экстремальные природно-климатические условия освоения территории, низкая устойчивость экологических систем, высокие риски возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. В связи с этим, результаты диссертационной работы Маслобоева А.В. вносят существенный вклад в развитие методологии и информационных технологий системной оценки рисков освоения ресурсной базы Мурманской области, а также способствуют повышению эффективности деятельности субъектов управления региональной безопасностью за счет удовлетворения их информационных потребностей в процессе принятия стратегических и оперативных управленческих решений на основе адекватной информационно-аналитической поддержки.

Заместитель Министра  
природных ресурсов и экологии  
Мурманской области

МП



В.М. Хруцкий

3) Справка об использовании результатов докторской диссертационной работы  
 Министерством развития промышленности и предпринимательства Мурманской  
 области

Министерство развития промышленности и предпринимательства  
 Мурманской области

**СПРАВКА**

об использовании результатов диссертационной работы  
 на соискание ученой степени доктора технических наук  
 по специальность 05.13.10 – «Управление в социальных и экономических  
 системах» (технические науки)

**Маслобоева Андрея Владимировича**

Основные теоретические и практические результаты диссертационной работы А.В. Маслобоева «Исследование и разработка моделей и методов информационной поддержки управления региональной безопасностью (на примере Мурманской области)» использованы Министерством развития промышленности и предпринимательства Мурманской области при определении состава участников государственно-частного партнерства инвестиционных проектов и при формировании эффективных инновационных структур для реализации социально значимых проектов на территории Мурманской области.

Разработки обеспечили повышение оперативности и качества принимаемых управленческих решений в сфере инновационной и социальной безопасности Мурманской области.

Заместитель министра

О.Н. Костенко



4) Справка об использовании результатов докторской диссертационной работы в практической деятельности Управления по делам гражданской обороны, защиты населения от чрезвычайных ситуаций и пожарной безопасности Мурманской области.

<p style="text-align: center;"><b>КОМИТЕТ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Государственное областное казенное учреждение «УПРАВЛЕНИЕ ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЗАЩИТЕ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ» (ГОКУ «Управление по ГОЧС и ПБ Мурманской области»)</b></p> <p style="text-align: center;">■ Буркова ул., д.4, г. Мурманск, 183025        ☎ (8152) 210-983, факс (8152) 45-81-05        E-mail: info@murmam01.ru        ОКПО 07913815, ОГРН 1025100861763        ИНН/КПП 5191501741/519001001</p>	<p style="text-align: right;"><b>УТВЕРЖДАЮ</b></p> <p style="text-align: right;"><b>И.о. начальника ГОКУ Управление по ГОЧС и ПБ Мурманской области»</b></p> <p style="text-align: right;"><b>А.В. Залесов</b></p> <p style="text-align: right;"><i>Зарубаев</i> 2016 г.</p> 
<p><i>O практическом использовании результатов научного исследования</i></p> <p style="text-align: center;"><b>СПРАВКА</b></p> <p style="text-align: center;"><b>о практическом использовании результатов диссертационной работы Маслобоева Андрея Владимировича</b></p>	
<p>Основные результаты и выводы диссертации, а также разработки, методы и оценки, обоснованные в диссертационной работе Маслобоева А. В. «Исследование и разработка моделей и методов информационной поддержки управления региональной безопасностью (на примере Мурманской области) используются ГОКУ «Управление по ГОЧС и ПБ Мурманской области» для повышения оперативности, достоверности и качества выдаваемой информации об обстановке на территории Мурманской области, входящей в Арктическую зону Российской Федерации, при принятии оперативных и стратегических управленческих решений.</p>	
<p>Подтверждаем целесообразность использования основных положений, выводов и разработок диссертации Маслобоева А. В. при реализации «Концепции общественной безопасности в Российской Федерации» (утв. Президентом РФ 14.11.2013г., Пр.-2685) на территории Мурманской области в части развития информационных технологий и связи для создания новых и совершенствования существующих автоматизированных систем обеспечения безопасности, предназначенных для сбора, обработки, анализа, хранения и обмена информацией в области гражданской обороны, защиты населения от чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биологического-социального характера на муниципальном и региональном уровнях.</p>	
<p><b>Начальник центра мониторинга и прогнозирования Управления</b></p>	<p><i>Чернов</i></p> <p><b>Н.В. Рыбчак</b></p>
<p>Тел. (8152)45-49-98</p>	

5) Справка об использовании результатов докторской диссертационной работы  
Морской коллегией при Правительстве Российской Федерации



**МОРСКАЯ КОЛЛЕГИЯ**  
при Правительстве Российской Федерации

103274, Москва, Краснопресненская наб., д. 2  
тел. 8 (495) 985-42-62, 985-41-80, факс 8 (495) 605-51-41, 605-50-72;  
эл. почта Mor\_kol@aprfr.gov.ru

№44-2798 от «25» января 2016 г.

Институт системного анализа РАН  
Диссертационный совет Д. 002.086.02

117312, Москва, пр.60-летия Октября, д.9

**СПРАВКА**  
о внедрении результатов научного исследования

Основные результаты и выводы диссертации, а также обоснованные в исследовании А.В. Маслобоева «Исследование и разработка моделей и методов информационной поддержки управления региональной безопасностью (на примере Мурманской области)» методы и оценки используются Морской коллегией при Правительстве Российской Федерации при подготовке нормативных документов и рекомендаций по реализации положений Морской доктрины Российской Федерации в части обеспечения информационной поддержки принятия государственных решений в сфере управления морской деятельностью на Арктическом региональном направлении.

Заместитель директора  
Административного департамента  
Правительства Российской Федерации,  
ответственный секретарь Морской коллегии  
при Правительстве Российской Федерации,  
вице-адмирал, кандидат экономических наук

А.И.Балыбердин

6) Справка об использовании результатов докторской диссертационной работы  
 Вторым Европейским Департаментом Министерства иностранных дел  
 Российской Федерации

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор  
 Второго Европейского департамента  
 Министерства иностранных дел  
 Российской Федерации

 Неверов И.С.

“25” ноября 2015 г.

СПРАВКА о практическом использовании  
 результатов диссертационной работы  
 «Исследование и разработка моделей и методов информационной поддержки управления  
 региональной безопасностью (на примере Мурманской области)»  
 на соискание ученой степени доктора технических наук  
Маслобоева Андрея Владимировича

Арктика является одним из приоритетных направлений российской внешней политики. Двусторонние отношения и региональное сотрудничество России со странами Баренцева/Евро-Арктического региона по вопросам обеспечения безопасности и устойчивого развития арктических территорий входит в сферу полномочий Второго Европейского департамента МИД России. Важная роль в рамках этого направления работы Департамента отводится задаче развития арктического ИТ-кластера с целью создания виртуальной интеграционной площадки по сотрудничеству в сфере региональной и международной безопасности в БЕАР. Эта задача является как одним из главных пунктов новой Киркиннской декларации, так и важным этапом на пути создания единого информационного пространства Арктической зоны России при реализации «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года». С этих позиций основные положения, выводы и результаты диссертационной работы Маслобоева Андрея Владимировича на тему «Исследование и разработка моделей и методов информационной поддержки управления региональной безопасностью (на примере Мурманской области)» являются актуальными и обладают практической ценностью для работы МИД на этом направлении.

Результаты диссертационного исследования Маслобоева А.В. были изучены во Втором Европейском департаменте Министерства иностранных дел Российской Федерации для анализа сценариев развития ситуации в Евроарктическом регионе и формирования эффективных структур организационного управления международной безопасностью в этом регионе.

Использованы следующие результаты:

1. Интегрированная системно-динамическая модель региональной безопасности.
2. Метод автоматизированного синтеза мультиагентных моделей организационных структур управления безопасностью региона.
3. Технология комплексного информационного мониторинга и индикаторного оценивания интегральных показателей региональной безопасности.
4. Программная мультиагентная система информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью.
5. Тренажерно-моделирующий комплекс «Виртуальный когнитивный центр», предназначенный для экспертно-имитационного моделирования задач управления региональной безопасностью.
6. Мультипредметная веб-ориентированная информационная система «RU-Arctic», предназначенная для комплексного освещения обстановки в арктических регионах России.

7. Профессиональная социальная сеть BarentsNet, предназначенная для автоматизации установления профессиональных контактов в области международного сотрудничества по вопросам инновационного и безопасного развития арктических регионов.

С использованием разработанного в диссертации модельного, методического и программного инструментария проводятся исследования различных вариантов обеспечения устойчивого социально-экономического развития арктических регионов России на примере Мурманской области. Проведение компьютерного моделирования рассматриваемых сценариев позволяет выявить и сопоставить перспективные варианты обеспечения региональной безопасности, проанализировать возможные результаты организационных мероприятий и управлений решений, обеспечивающих их реализацию. В частности, были намечены пути по совершенствованию действующей системы управления региональной безопасностью и повышению эффективности ее функционирования в сфере международного сотрудничества по вопросам экономической, кадровой, инновационной и экологической безопасности в Баренцевом регионе.

Предложенные в диссертационной работе А.В. Маслобоева технологические решения хорошо согласуются с организационной структурой управления региональной безопасностью и обеспечивают повышение эффективности использования существующих в арктических регионах информационных ресурсов за счет их интеграции и комплексного использования. Это крайне важно для регионального сотрудничества в области обеспечения безопасности и инновационного развития в российской части Баренцева региона. Другими важными достоинствами разработок являются возможность организации информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью с привлечением географически удаленных участников, информационных ресурсов и программных средств, а также возможность координации деятельности организационно разнородных субъектов управления безопасностью в условиях децентрализованного принятия решений.

Положительный эффект: использование результатов диссертационной работы А.В. Маслобоева «Исследование и разработка моделей и методов информационной поддержки управления региональной безопасностью (на примере Мурманской области)» позволяет повысить оперативность и качество принимаемых решений по управлению региональной безопасностью в Арктической зоне Российской Федерации, на порядок сократить трудоемкость информационного мониторинга угроз региональной безопасности и существенно повысить качество прогнозов основных показателей безопасности социально-экономического развития Мурманской области, являющейся форпостом России в Арктике.

На основании результатов опытной эксплуатации программной мультиагентной системы информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью принято решение о ее внедрении в практику работы Второго Европейского департамента МИД России.

Начальник отдела регионального сотрудничества  
Второго Европейского департамента  
Министерства иностранных дел  
Российской Федерации

  
Иванов А.Ю.  
«25» ноября 2015 г.

7) Акт об использовании результатов докторской диссертационной работы  
Институтом актуальных международных проблем Дипломатической Академии  
Министерства иностранных дел Российской Федерации.

 <p><b>МИНИСТЕРСТВО ИНОСТРАННЫХ ДЕЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ</b> <b>ДИПЛОМАТИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ</b> ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ 119992, г. Москва, ул. Остоженка, д. 53/2, стр. 1 тел.: 8-499-246-18-44 29.10.2015 № 1480</p> <p>На № _____ от _____</p>	<p>«УТВЕРЖДАЮ» РЕКТОР ФГБОУ ВПО «ДИПЛОМАТИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ МИД РОССИИ» д.и.н., профессор Е.П.БАЖАНОВ <i>John A</i></p> <p>«29» октября 2015 г. 2015 г.</p> <p style="text-align: center;">АКТ</p> <p><b>О внедрении результатов диссертационной работы Маслобоева Андрея Владимировича на сокращениеченой степени доктора технических наук на тему: «Исследование и разработка моделей и методов информационной поддержки управления региональной безопасностью (на примере Мурманской области)»</b></p> <p>Настоящим ФГБОУ ВПО «Дипломатическая академия Министерства иностранных дел Российской Федерации» подтверждает, что положения, выводы и результаты диссертационной работы Маслобоева А.В. на тему: «Исследование и разработка моделей и методов информационной поддержки управления региональной безопасностью (на примере Мурманской области)» внедрены в практическую деятельность Института актуальных международных проблем Дипломатической академии Министерства иностранных дел Российской Федерации.</p> <p>Развитие арктического ИТ-кластера с целью создания виртуальной интеграционной площадки по сотрудничеству в сфере управления безопасностью арктических территорий является как одним из главных пунктов новой Киркенесской декларации, так и важным этапом на пути создания единого информационного пространства арктической зоны России по реализации «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года». С этих позиций основные положения, выводы, результаты диссертационной работы Маслобоева А.В. являются актуальными и обладают высокой практической</p>
---	---

ценностью для обеспечения международной безопасности страны на региональном уровне.

Результаты данного диссертационного исследования прошли апробацию в Институте актуальных международных проблем Дипломатической академии МИД России и были применены в прогнозировании основных показателей безопасности социально-экономического развития арктических регионов с целью анализа сценариев развития геополитической ситуации в Арктической зоне России и формирования эффективных структур организационного управления международной безопасностью в данном регионе.

Институтом актуальных проблем Дипломатической академии МИД России были использованы следующие результаты диссертационного исследования А.В.Малособева:

1. интегрированная системно-динамическая модель региональной безопасности;
2. метод автоматизированного синтеза мультиагентных моделей организационных структур управления безопасностью региона;
3. технология комплексного информационного мониторинга и индикаторного оценивания интегральных показателей региональной безопасности;
4. программная мультиагентная система информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью;
5. тренажерно-моделирующий комплекс: «Виртуальный когнитивный центр», предназначенный для экспериментно-имитационного моделирования задач управления региональной безопасностью;
6. мультипредметная веб-ориентированная информационная система «RU-Arctic», предназначенная для комплексного освещения обстановки в арктических регионах России;
7. профессиональная социальная сеть VagentsNet, предназначенная для автоматизации установления профессиональных контактов в области международного сотрудничества по вопросам инновационного и безопасного развития арктических регионов.

С использованием разработанного в диссертации модельного, методического и программного инструментария проводятся исследования различных вариантов обеспечения комплексной безопасности социально-экономического развития арктических регионов на примере Мурманской области. Проведение компьютерного моделирования рассматриваемых сценариев позволяет выявить и сопоставить перспективные варианты обеспечения региональной безопасности, проанализировать возможные результаты организационных мероприятий и управленческих решений, обеспечивающих их реализацию. В частности, были

намечены пути по совершенствованию действующей системы управления региональной безопасностью и повышению эффективности ее функционирования в сфере экономической, кадровой, инновационной и экологической безопасности.

Предложенные в диссертационной работе технологические решения хорошо согласуются с организационной структурой управления региональной безопасностью и обеспечивают повышение эффективности применения существующих в арктических регионах информационных ресурсов за счет их интеграции и комплексного использования. Это крайне важно для обеспечения безопасности регионального развития. Другими важными достоинствами разработок является возможность организации информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью с привлечением географически удаленных участников, информационных ресурсов и программных средств, а также возможность координации деятельности организационно разнородных субъектов управления безопасностью в условиях децентрализованного принятия решений.

Использование результатов диссертационной работы Маслобоева А.В. на тему: «Исследование и разработка моделей и методов информационной поддержки управления региональной безопасностью (на примере Мурманской области)» позволяет повысить оперативность и качество принимаемых решений по управлению региональной безопасностью в Арктической зоне Российской Федерации, на порядок сократить трудоемкость информационного мониторинга угроз региональной безопасности и существенно повысить качество прогнозов основных показателей безопасности социально-экономического развития Мурманской области.

На основании результатов опытной эксплуатации программной мультиагентной системы информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью Институтом актуальных международных проблем Дипломатической академии МИД России принято решение рекомендовать ее внедрение в практику работы МИД России.

Проректор по научной работе и  
международным связям,  
Руководитель Института актуальных  
международных проблем  
Дипломатической академии МИД России  
Д.П.И., профессор

О.П.Иванов

8) Акт об использовании результатов докторской диссертационной работы в практической деятельности Национального института исследований глобальной безопасности.

	<p><b>Автономная некоммерческая организация НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЛОБАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ</b>          127018, Россия, г. Москва, ул.Двинцев, д.8, пом. 1, тел.: (985) 776-59-99, (495) 656-20-14, (916) 304-30-00, факс: (495) 605-20-15,  <a href="mailto:info@niiglob.ru">info@niiglob.ru</a>, <a href="http://www.niiglob.ru">www.niiglob.ru</a>          ОГРН 1117799002287 ИНН/КПП 7715098597 / 771501001</p>	<hr style="margin-bottom: 5px;"/> № _____ На № _____ от _____
<b>УТВЕРЖДАЮ</b> Президент Национального института исследований глобальной безопасности		
 А.И. Смирнов  « 23 » Июня 2015 г.		
<b>АКТ</b> об использовании результатов докторской диссертационной работы <u>Маслобоева Андрея Владимировича</u>		
<p>Комиссия в составе: председателя – Президента Национального института исследований глобальной безопасности, Чрезвычайного и Полномочного Посланника РФ в отставке, доктора исторических наук, профессора Смирнова Анатолия Ивановича, членов комиссии: профессор кафедры госуправления и национальной безопасности Дипломатической академии МИД России, д.т.н., профессор Кретов Вадим Семенович, ответственный секретарь Оргкомитета Национального форума информационной безопасности «Инфофорум», к.ю.н. Жуков Александр Владимирович, ответственный секретарь Научного совета АНО «Национальный институт исследований глобальной безопасности», к. полит. наук Кохтиюлина Ирина Николаевна составила настоящий акт в том, что результаты, полученные в диссертационном исследовании Маслобоева Андрея Владимировича:</p>		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Интегрированная концептуальная модель региональной безопасности.</li> <li>2. Комплекс проблемно-ориентированных имитационных моделей прогнозирования динамики показателей региональной безопасности.</li> <li>3. Метод автоматизированного формирования спецификаций виртуальных организационных структур управления региональной безопасностью.</li> <li>4. Метод комплексной оценки интегрального показателя региональной безопасности на основе формирования и анализа матрицы показателей региональной безопасности.</li> <li>5. Технология динамического синтеза и конфигурирования мультиагентной информационно-аналитической среды региональной безопасности</li> </ol> <p>имеют теоретическую значимость и практическую ценность, обладают научной новизной.</p>		
<p>Вышеназванные результаты внедрены в деятельность Национального института исследований глобальной безопасности при выполнении ряда НИР в рамках Национального форума информационной безопасности «Инфофорум» в интересах экспертного совета Комитета Госдумы России по безопасности и противодействию коррупции. Данные результаты позволяют сократить затраты на проведение опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ, проводимых в организации.</p>		
<p>Национальным институтом исследований глобальной безопасности используется</p>		

мониторинговая информационно-аналитическая система «Ангара», предназначенная для информационного и аналитического сопровождения функционирования ситуационных центров, поддержки принятия решений в кризисных ситуациях и анализа международных конфликтов. В работе этой системы используются следующие практические результаты диссертационной работы:

1. Прототип программной мультиагентной системы информационной поддержки управления региональной безопасностью, обеспечивающей автоматизацию и координацию процессов принятия решений по управлению безопасностью в разнотипных кризисных ситуациях в условиях децентрализованного управления и высокой динамики внешней среды.
2. Гибридный облачный сервис «Виртуальный когнитивных центр» предназначенный для экспертно-имитационного моделирования задач управления региональной безопасностью.
3. Веб-сервис BarentsNet, реализующий функционал профессиональной социальной сети и представляющий собой виртуальную интеграционную площадку для взаимодействия экспертов, бизнеса и органов государственной власти по вопросам инновационного развития и обеспечения безопасности арктических регионов.

В рамках эксплуатации перечисленных разработок прошли апробацию разработанные автором диссертационной работы модели и методы применительно к проблемам информационного обеспечения международной и глобальной безопасности.

В рамках программного инструментария ИАС «Ангара» опробован разработанный метод синтеза виртуальных организационных структур управления безопасностью на базе слабоструктурированных неполных исходных данных для разнородных кризисных ситуаций.

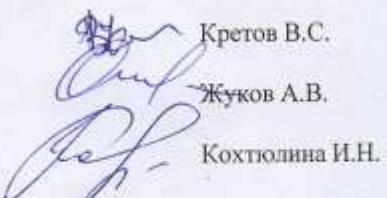
Положительный эффект: использование результатов диссертационной работы при оптимизации структуры программного обеспечения и расширении функциональных возможностей ИАС «Ангара» для решения задач мониторинга и анализа угроз международной безопасности на региональном уровне позволило повысить объем перерабатываемой системой информации, точность прогноза базовых показателей региональной безопасности, эффективность настройки системы на анализ конкретных региональных кризисных ситуаций, а также оперативность и качество работы для информационной поддержки принятия управленческих решений в области международной безопасности.

Председатель комиссии



Смирнов А.И.

Члены комиссии:

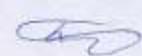


Кретов В.С.

Жуков А.В.

Кохтолина И.Н.

9) Акт об использовании результатов докторской диссертационной работы в образовательном процессе на кафедре информационных систем и технологий Кольского филиала Петрозаводского государственного университета.

<p>Министерство образования и науки РФ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования <b>«Петрозаводский государственный университет»</b> <b>КОЛЬСКИЙ ФИЛИАЛ</b> (КФ ПетрГУ) улица Космонавтов, дом 3, город Апатиты, Мурманская область, 184209 тел. (81555) 7-45-00 факс (81555) 7-40-66 E-mail: apafily@petru.ru ИНН 1001040287 КПП 1510102001 ОКПО 36694981 ОГРН 1021000519935 от <u>24 октября 2015 г.</u> № 11-КФ/ <u>673</u> на № <u>от</u></p>	<p>«УТВЕРЖДАЮ» Директор Кольского филиала Петрозаводского государственного университета  <i>М. В. Иванова</i> <i>673</i> 2015 г. М. В. Иванова</p>
<p><b>АКТ</b> о внедрении результатов диссертационного исследования: <b>Маслобоева Андрея Владимировича</b> в образовательный процесс</p>	
<p>Диссертационное исследование А.В. Маслобоева на тему: «Исследование и разработка моделей и методов информационной поддержки управления региональной безопасностью (на примере Мурманской области)» выполнено на базовой кафедре «Информационные системы и технологии» Кольского филиала ПетрГУ при Институте информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН.</p>	
<p>Научные результаты исследования используются в качестве компонентов программы обучения 230400.62 «Информационные системы и технологии» в рамках таких учебных курсов кафедры, как «Корпоративные информационные системы», «Распределенные системы», «Многоагентные системы», «Имитационное моделирование».</p>	
<p>Использованы следующие результаты работы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Метод автоматизированного синтеза мультиагентных моделей организационных структур управления региональной безопасностью.</li> <li>2. Мультиагентная технология информационного мониторинга показателей региональной безопасности.</li> <li>3. Методы и технологии организации функционирования распределенной информационной среды региональной безопасности.</li> <li>4. Сервис-ориентированная агентная платформа, обеспечивающая распределенное имитационное моделирование задач управления региональной безопасностью и поддержку взаимодействия разнотипных программных агентов в виртуальной среде.</li> </ol>	
<p>Практические результаты диссертационной работы А.В. Маслобоева такие как: комплекс имитационных моделей прогнозирования динамики показателей региональной безопасности, программная мультиагентная система информационной поддержки управления региональной безопасностью, гибридный облачный сервис «Виртуальный когнитивный центр» для управления региональной безопасностью» и прикладная онтология региональной безопасности используются в рамках лабораторного практикума и практических занятий студентов факультета информатики и прикладной математики.</p>	
<p>Использование указанных результатов в учебном процессе позволяет предоставить студентам актуальные знания и навыки о способах построения проблемно-ориентированных распределенных информационных систем на базе P2P-технологий и автономных программных агентов. Демонстрируются способы разработки имитационных моделей сложных динамических систем и процессов на основе технологии дистанционного формирования и управления моделями системной динамики.</p>	
<p>Заведующий кафедрой Информационных систем и технологий Кольского филиала ПетрГУ д.т.н.</p>	
 <b>А.Г. Олейник</b>	
<p>Заместитель декана факультета Информатики и прикладной математики Кольского филиала ПетрГУ к.т.н.</p>	
 <b>В.В. Быстров</b>	

10) Справка об использовании результатов докторской диссертационной работы в образовательном процессе на кафедре государственного управления и национальной безопасности Дипломатической Академии МИД России.

  
**МИНИСТЕРСТВО ИНОСТРАННЫХ ДЕЛ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ДИПЛОМАТИЧЕСКАЯ  
АКАДЕМИЯ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ**  
 119992, г. Москва, ул. Остоженка, д. 53/2, стр. 1  
 тел.: 8-499-246-18-44  
29.10.2015 № 1480  
 На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_  
 **СПРАВКА**  
о внедрении результатов диссертационной работы на тему «Исследование и разработка моделей и методов информационной поддержки управления региональной безопасностью (на примере Мурманской области)» на соискание ученой степени доктора технических наук  
На настоящим подтверждаю, что результаты и выводы диссертационной работы Маслобоева Андрея Владимировича на тему: «Исследование и разработка моделей и методов информационной поддержки управления региональной безопасностью (на примере Мурманской области)», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, в части организации информационно-аналитической поддержки управления региональной безопасностью с привлечением географически удаленных участников информационных ресурсов и программных средств, а также концептуальные идеи по координации деятельности организационно-разнородных субъектов управления безопасностью в условиях децентрализованного принятия решений, внедрены на лекционных и семинарских занятиях, проводимых кафедрой Государственного управления и национальной безопасности Дипломатической академии МИД России для слушателей магистратуры факультета «Международные отношения и международное право» по направлению подготовки «Международная безопасность».  
Использование указанных результатов позволило совершенствовать методологическую основу соответствующих учебных дисциплин, наполнить содержание направлений научно-исследовательской работы слушателей в сфере обеспечения региональной безопасности.  
Заведующий кафедрой  
Государственного управления и  
национальной безопасности  

  
  
 В.И.АНИКИН  
«28» 10 2015г.