

УДК 004.9

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВОГО ГОДА ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОЕКТУ «РАЗРАБОТКА КОГНИТИВНЫХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА УГРОЗ РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ)»*

В. В. Быстров, А. В. Маслобоев, А. Г. Олейник, В. А. Путилов, С. Ю. Яковлев
ФГБУН Институт информатики и математического моделирования
технологических процессов КНЦ РАН

Аннотация

Выполнен анализ проблем информационного обеспечения комплексной безопасности региональных социально-экономических систем. Разработана интегрированная концептуальная модель жизненного цикла угроз региональной безопасности. Созданы рекуррентная иерархическая модель безопасности региональных социально-экономических систем и мультиагентная технология мониторинга угроз региональной безопасности. Спроектирован тренажерно-моделирующий комплекс для управления безопасностью в кризисных ситуациях.

Ключевые слова:

региональная безопасность, информационная поддержка, компьютерное моделирование, мультиагентные технологии, Арктическая зона.

**PROJECT "DEVELOPMENT OF COGNITIVE METHODS AND TECHNOLOGIES FOR INFORMATION MONITORING OF THE REGIONAL SECURITY THREATS LIFE-CYCLE (EXEMPLIFIED WITH THE ARCTIC ZONE OF RUSSIAN FEDERATION)":
FIRST-YEAR RESEARCH RESULTS**

Vitaliy V. Bystrov, Andrey V. Masloboev, Andrey G. Oleynik, Vladimir A. Putilov, Sergey Yu. Yakovlev
Institute for Informatics and Mathematical Modelling of Technological Processes
of the KSC of the RAS

Abstract

The analysis of problems in informational support of complex safety for regional social and economic systems has been accomplished. An integrated conceptual model of the life-cycle of regional safety threats has been worked out. A recurrent hierarchical model of regional social and economic systems safety as well as a multiagent technology of regional safety threats monitoring have been created. Training simulator for safety management at crisis situations has been designed.

Keywords:

regional safety, informational support, computer simulation, multiagent technologies, Arctic zone.

Введение

В рамках фундаментальной научной проблемы разработки и развития научно-методических основ информационного обеспечения управления комплексной безопасностью социально-экономических систем регионального масштаба в проекте решается задача создания методологии математического и компьютерного моделирования многоуровневых иерархических систем управления безопасностью развития региональных социально-экономических систем Арктической зоны Российской Федерации (АЗ РФ). С практической точки зрения результаты проекта ориентированы на разработку системы распределенных тренажерно-моделирующих комплексов на базе современных

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 15-07-04290.

информационных технологий – мультиагентного, онтологического и системно-динамического моделирования. В сочетании с поддержкой облачных и веб-сервисов разрабатываемые моделирующие комплексы обеспечат информационный мониторинг, индикаторное оценивание и управление жизненным циклом угроз региональной безопасности в АЗ РФ. В проекте осуществляется разработка когнитивных моделей, методов и технологий получения, анализа и обработки информации, ориентированных на формирование целостной информационной среды поддержки решения задач управления региональной безопасностью.

Формализация задач информационного обеспечения комплексной безопасности региональных социально-экономических систем

В результате системного анализа проблемы выявлены специфические особенности и основные недостатки современной системы организационного управления безопасностью региональных социально-экономических систем АЗ РФ.

Важной функцией управления региональным развитием и одной из основных для Арктических регионов является обеспечение промышленно-экологической безопасности. На фоне возрастающей динамики техногенно-природных изменений имеет место слабая изученность этой проблемы в условиях Российской Арктики. Специфика безопасности развития АЗ РФ состоит в том, что, с одной стороны, уровень безопасности региона существенно зависит от глобальных угроз, с другой стороны, возможные кризисы и чрезвычайные ситуации, обусловленные особенностями региона, способны привести к дестабилизации систем более высокого уровня – федерального, международного, мирового [1].

При моделировании процессов управления безопасностью представляется целесообразным применение принципа приемлемого риска, т. е. риска, достижимого и оправданного (допустимого) с точки зрения социально-экономических и экологических факторов обеспечения безопасности развития; риска, с которым общество готово мириться ради получения определенных положительных результатов своей деятельности в настоящем и будущем. Величина приемлемого риска определяется достигнутым уровнем знаний, социально-экономическими возможностями государства, общественным мнением, а также региональными особенностями. Обоснование уровня приемлемого риска регионального развития – самостоятельная научная задача.

К настоящему времени в АЗ РФ создана многопрофильная производственная и социальная инфраструктура преимущественно сырьевых отраслей экономики, а также военно-промышленного и транспортного комплексов.

В предшествующих исследованиях исполнителями проекта разработаны подходы к унифицированному математическому описанию предметных областей сложной структуры, информационным ресурсам поддержки управления сложными системами, а также разнородных опасностей [1–5]. В рамках данного проекта основное внимание уделяется информационно-аналитической поддержке управления безопасностью, вопросам координации действий сил и средств, построению единого информационного пространства для принятия решений.

В настоящее время отсутствует целостная, эффективно функционирующая структура информационного обеспечения управления региональной безопасностью. Специфика деятельности в АЗ РФ и обусловленные ею задачи и проблемы обеспечения безопасности указанных территорий позволили выбрать в качестве наиболее перспективной сетцентрическую модель организации системы поддержки управления.

Разработана интегрированная концептуальная модель жизненного цикла угроз региональной безопасности для повышения семантической интероперабельности информационных систем региональных ситуационно-кризисных центров [2, 4]. Модель объединяет формализованные описания предметной области «региональная безопасность» и исполнительной среды информационно-аналитической поддержки процессов управления региональной безопасностью в разнотипных кризисных ситуациях, реализована в виде

прикладной OWL-онтологии. Это обеспечивает, с одной стороны, семантическую интероперабельность информационных систем региональных ситуационно-кризисных центров, образующих целостную информационную инфраструктуру безопасности региона, а с другой – формальную основу для автоматизации и имитационного моделирования процессов принятия управленческих решений в условиях разнотипных кризисных ситуаций на всех этапах жизненного цикла угроз региональной безопасности.

Практическая реализация концептуальной модели выполнялась средствами языка онтологического моделирования OWL (Web Ontology Language) в инструментальной среде разработки онтологий Protégé. Созданная прикладная онтология содержит 7 уровней таксономии и включает в себя более 500 классов, 150 атрибутов, 30 иерархических и 40 ассоциативных отношений, 30 функциональных ограничений. Онтология имеет высокую степень детализации, что обеспечивает целостное формализованное представление состава объектов и субъектов, участвующих в процессах обеспечения региональной безопасности на всех этапах жизненного цикла развития кризисных ситуаций и на всех уровнях управления (стратегическом, оперативном, тактическом) и отношений между ними.

Разработанная модель обладает когнитивными свойствами и обеспечивает основу для реализации процедур автоматизированного синтеза и анализа мультиагентных моделей организационных структур управления региональной безопасностью в разнотипных кризисных ситуациях.

Технология мониторинга угроз региональной безопасности

Разработана мультиагентная технология информационного мониторинга угроз региональной безопасности для анализа и синтеза сценариев антикризисного управления комплексной безопасностью региональных социально-экономических систем АЗ РФ. Построены формализованные модели жизненного цикла угроз региональной безопасности и интеллектуальные агенты для сбора и обработки информации о влиянии изменяющихся угроз на состояние региональных систем [6, 7].

Разработан комплекс проблемно-ориентированных имитационных моделей прогнозирования сценариев развития компонентов региональных систем АЗ РФ. В основе комплекса моделей лежит предложенная коллективом исполнителей проекта система индикаторов оценки комплексной безопасности региона, сформированная на основе ряда параметров, используемых в методиках оценивания социально-экономического развития региона ведущими научными коллективами РФ, и дополненная собственными индикаторами [8, 9]. Дополнительные индикаторы в основном представляют собой аддитивную свертку нескольких показателей и введены из практических соображений для упрощения генерации имитационных моделей. На данный момент система индикаторной оценки комплексной безопасности содержит более 20 основных показателей, часть которых получается за счет вычислений, а другая – берется из данных официальной статистики. На текущей стадии исследования рассматривается пять составляющих безопасности: экономическая, социальная, экологическая, кадровая и промышленная. Предложенная система показателей может расширяться путем добавления новых компонентов, необходимых для оценки комплексной безопасности региона. Разработана технология формального сравнения сценариев развития компонентов региональных систем с использованием предложенной системы показателей оценки безопасности. Технология основана на матричном представлении оценок показателей безопасности, где столбцы матрицы соответствуют учитываемым в оценке составляющим комплексной безопасности, а в строках представлены их параметры. На данный момент в качестве элементов матрицы оценки комплексной безопасности рассматриваются только скалярные величины. Ведутся работы по рассмотрению вариантов выхода за пределы классической теории матриц и применению векторных и лингвистических переменных в качестве элементов матрицы.

Для представления связей между предложенными показателями оценки состояния комплексной безопасности построены когнитивные модели в виде диаграмм причинно-следственных связей. В качестве вершин диаграммы взяты выделенные показатели комплексной безопасности и концепты формальной интегрированной концептуальной модели жизненного цикла угроз региональной безопасности. Разработанные когнитивные модели рассматривались как средство наглядного представления разнородной информации об объекте исследования и были положены в основу комплекса имитационных моделей.

Комплекс моделей прогнозирования сценариев развития компонентов региональных систем АЗ РФ разработан с применением таких видов моделирования, как системная динамика, дискретно-событийное и агентное моделирование. В качестве средств разработки моделей использовались инструментальная среда Anylogic и программные приложения распределенного синтеза имитационных моделей, разработанные с участием исполнителей проекта в рамках предыдущих научно-исследовательских работ [5, 10–12]. Синтез проблемно-ориентированной имитационной модели из априорно определенного набора шаблонов осуществляется на основе концептуального описания решаемой задачи, представленной в OWL-онтологии, с использованием специально разработанных формальных процедур.

Мультиагентная технология информационного мониторинга угроз региональной безопасности обеспечивает автоматизированное формирование матрицы показателей региональной безопасности и прогнозирование динамики показателей в режиме реального времени. В результате многократной имитации можно исследовать и оценить динамику показателей безопасности как для задач оценки комплексной безопасности в целом, так и для конкретной ее составляющей.

Модель комплексной безопасности региональных социально-экономических систем

Разработана агентная многоуровневая рекуррентная иерархическая модель комплексной безопасности региональных социально-экономических систем для поддержки сетецентрического управления безопасностью. Специфика модели заключается в использовании функционально-целевой технологии [13] и математического аппарата теории иерархических многоуровневых систем [14] для реализации процедур согласования локальных решений сетецентрического управления. Сетецентричность предполагает сетевую структуру организационного управления с выделенными управляющими центрами. Модель обеспечивает координацию показателей региональной безопасности, оптимизируемых различными элементами многоуровневых систем управления, в условиях децентрализованного принятия решений.

Предметная область задачи обеспечения комплексной безопасности региона имеет иерархическую структуру, образуемую различными по характеру согласованными составляющими региональной безопасности. Каждая из составляющих, в свою очередь, образуется набором объектов, субъектов, процессов и методов обеспечения безопасности, потенциальных угроз и опасностей. Таким образом, структура многоуровневой системы управления безопасностью, построенная изоморфно декомпозиции основной целевой задачи обеспечения комплексной региональной безопасности, представляется в виде дерева. Корню дерева ставится в соответствие собственно система, вершинам дерева, отстоящим от корня на одно ребро, – подсистемы, реализующие классы безопасности, далее – 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 комплексной безопасностью. С этой целью 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 [3].

Иерархическая модель формируется путем рекуррентной декомпозиции задач предметной области, начиная с основной целевой задачи. Каждая задача представляется в виде двухуровневой структуры, имеющей один элемент верхнего уровня и определяемое свойствами предметной области число элементов нижнего уровня. Терминальный уровень иерархической структуры образуют задачи, дальнейшая декомпозиция которых в рамках предметной области невозможна либо нецелесообразна. Регулярные правила построения модели обеспечивают возможность получения для рекуррентной модели достаточно простых решений вопросов координации и создания конкретных алгоритмов структурно-алгоритмического синтеза. Под координацией в настоящей работе понимается свойство системы находить оптимальные решения общей задачи управления при оптимизации подзадач управления, решаемых подсистемами. Для обеспечения координации требуется реализовать определенные ограничения на взаимосвязи между подсистемами. Вариант организации управления зависит от степени распределенности общей задачи системы между уровнями. Наиболее простое решение состоит 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. 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.

Разработанная рекуррентная модель обеспечивает основу для автоматизированного синтеза программной исполнительской среды информационно-аналитической поддержки принятия управленческих решений в сфере региональной безопасности, а также для решения задач координации в многоуровневых распределенных системах [15].

Тренажерно-моделирующий комплекс решения задач управления безопасностью в кризисных ситуациях

На основе полученных в ходе проекта теоретических результатов спроектирован и разрабатывается тренажерно-моделирующий комплекс для решения задач управления безопасностью в кризисных ситуациях в виде облачного сервиса на базе модели обслуживания IaaS [16, 17]. Выбор гибридного облачного решения обеспечит доступ к создаваемому инструментарию для субъектов управления различного уровня и экспертов. Выполнена программная реализация управляющего ядра и ряда активных компонентов тренажерно-моделирующего комплекса на базе облачных технологий. Отличительной особенностью создаваемого тренажерно-моделирующего комплекса является реализация процедур автоматизированного формирования по данным мониторинга матрицы показателей региональной безопасности, характеризующих состояние развития компонентов социально-экономической системы региона, и их параметризации на основе собранной информации. Это дает возможность оценки данных показателей на основе набора измеряемых параметров и прогнозирования их динамики средствами имитационного моделирования для анализа и синтеза сценариев антикризисного управления безопасностью развития и функционирования компонентов региональных систем.

Заключение

Системные исследования по созданию комплексных автоматизированных систем для информационной поддержки и координации сетецентрического управления региональной безопасностью арктических регионов до настоящего времени не проводились ни в Российской

Федерации, ни за рубежом. Актуальность таких исследований обусловлена принятием государственных стратегических решений по активизации деятельности РФ в Арктической зоне и необходимостью создания современной информационной инфраструктуры обеспечения безопасности этой деятельности как на региональном, так и на международном уровне.

В настоящее время для решения проблемы повышения эффективности сетецентрического управления региональной безопасностью используются разнообразные средства информационно-аналитической поддержки, каждое из которых представляет собой обособленный комплекс методов автоматизации и управления. Эти средства применяются изолированно друг от друга для решения частных задач информационного обеспечения отдельных аспектов региональной безопасности. Полученные в ходе исследований по проекту результаты ориентированы на комплексное решение проблемы формирования системы целостной информационной поддержки управления безопасностью. Предлагаемые разработки обеспечивают возможность совместного использования существующих и вновь создаваемых методов и средств информационной поддержки управления региональной безопасностью на основе их интеграции в рамках единой информационной среды региональной безопасности. При этом сами разработки предусматривают формальную основу для реализации процедур динамического формирования такой среды с учетом специфики задач информационной поддержки и наличия исполнительных ресурсов. Отечественных и зарубежных аналогов, комплексно решающих задачи проекта, в ходе исследований не выявлено.

Полученные результаты соответствуют мировому уровню с точки зрения используемых и разрабатываемых методов и информационных технологий. Интеграция технологий концептуального, системно-динамического и мультиагентного моделирования, а также методов теории многоуровневых иерархических систем, сетецентрического управления, технологий одноранговых распределенных информационных систем и Семантического Веба, обеспечивают создание адаптивной интеллектуальной среды информационно-аналитической поддержки задач управления и принятия решений на всех этапах жизненного цикла угроз региональной безопасности.

Предложенная методология решения исследуемой в рамках проекта научной проблемы и использованный инструментарий для решения поставленных задач обеспечили получение результатов, адекватных современным требованиям и мировым стандартам в области разработки методов и программных средств информационного обеспечения и мониторинга комплексной безопасности сложных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев С. Ю. Основы создания системы комплексной безопасности для защиты Арктической зоны Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций // Вестник Кольского научного центра РАН. 2014. № 3. С. 84–91.
2. Маслобоев А. В., Путилов В. А. Концептуальная модель интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью развития региона // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. 2011. Т. 14, № 4. С. 842–853.
3. Маслобоев А. В., Путилов В. А., Сютин А. В. Многоуровневая рекуррентная модель иерархического управления комплексной безопасностью региона // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. № 6(94). С. 163–170.
4. Маслобоев А. В., Путилов В. А. Специфика и структура задачи информационной поддержки управления безопасностью региональных социально-экономических систем // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. 2015. Т. 18, №3. С. 476–485.
5. Олейник А. Г. Концептуальное моделирование региональных систем. Саарбрюккен: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 204 с.
6. Маслобоев А. В. Гибридная архитектура интеллектуального агента с имитационным аппаратом // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. 2009. Т. 12, № 1. С. 113–125.
7. Горохов А. В., Маслобоев А. В., Олейник А. Г. Технология формирования спецификаций среды имитационного моделирования задач управления // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2013. № 3(19). С. 55–70.
8. Маслобоев А. В. Метод комплексной оценки и анализа глобальной безопасности региональных социально-экономических систем на основе когнитивного моделирования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 5(87). С. 154–164.
9. Маслобоев А. В. Состав и структура системно-динамической модели глобальной безопасности арктического региона // Вестник высших учебных заведений Черного моря. 2013. № 4(34). С. 43–53.
10. Путилов В. А., Горохов А. В. Системная динамика регионального развития. Мурманск:

НИЦ «Пазори», 2002. 306 с. **11.** Информационные технологии регионального управления / С. В. Емельянов [и др.] М.: Едиториал УРСС, 2004. 400 с. **12.** Маслобоев А. В., Олейник А. Г., Шишаев М. Г. Информационная технология дистанционного формирования и управления моделями системной динамики // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15, № 4. С. 748–755. **13.** Кузьмин И. А., Путилов В. А., Фильчаков В. В. Распределенная обработка информации в научных исследованиях. Л., 1991. 304 с. **14.** Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. 343 с. **15.** Маслобоев А. В., Путилов В. А., Сютин А. В. Координация в многоуровневых сетевых системах управления региональной безопасностью: подход и формальная модель // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15, № 1. С. 130–138. **16.** Маслобоев А. В. Виртуальные когнитивные центры как интеллектуальные системы для информационной поддержки управления региональной безопасностью // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. № 2(90). С. 167–170. **17.** Яковлев С. Ю. Информационно-аналитическое обеспечение функционирования регионального центра управления безопасностью в чрезвычайных и кризисных ситуациях // Проблемы управления безопасностью сложных систем: труды XXIII Международной конференции (Москва, декабрь 2015 г.) / под ред. Н. И. Архиповой, В. В. Кульбы. М.: РГГУ, 2015. С. 84–87.

Сведения об авторах

Быстров Виталий Викторович – кандидат технических наук, научный сотрудник ФГБУН Института информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН; e-mail: bystrov@iimm.ru

Маслобоев Андрей Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ФГБУН Института информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН; e-mail: masloboev@iimm.ru

Олейник Андрей Григорьевич – доктор технических наук, зам. директора по научной работе ФГБУН Института информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН; e-mail: oleynik@iimm.ru

Путилов Владимир Александрович – доктор технических наук, директор ФГБУН Института информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН; e-mail: putilov@iimm.ru

Яковлев Сергей Юрьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ФГБУН Института информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН; e-mail: yakovlev@iimm.ru

Information about the authors

Vitaliy V. Bystrov – PhD (Eng.) researcher of the Institute for Informatics and Mathematical Modelling of Technological Processes of the KSC of the RAS; e-mail: bystrov@iimm.ru

Andrey V. Masloboev – PhD (Eng.) senior researcher of the Institute for Informatics and Mathematical Modelling of Technological Processes of the KSC of the RAS; e-mail: masloboev@iimm.ru

Andrey G. Oleynik – Dr. Sci. (Eng.), deputy director of the Institute for Informatics and Mathematical Modelling of Technological Processes of the KSC of the RAS; e-mail: oleynik@iimm.ru

Vladimir A. Putilov – Dr. Sci. (Eng.), director of the Institute for Informatics and Mathematical Modelling of Technological Processes of the KSC of the RAS; e-mail: putilov@iimm.ru

Sergey Yu. Yakovlev – PhD (Eng.), senior researcher of the Institute for Informatics and Mathematical Modelling of Technological Processes of the KSC of the RAS; e-mail: yakovlev@iimm.ru

Библиографическое описание статьи

Результаты первого года исследований по проекту «Разработка когнитивных методов и технологий информационного мониторинга жизненного цикла угроз региональной безопасности (на примере Арктической зоны Российской Федерации)» / В. В. Быстров [и др.] // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2016. – № 1 (24). – С. 127–133.

Bibliographic Description

Project «Development of Cognitive Methods and Technologies for Information Monitoring of the Regional Security Threats Life-Cycle (Exemplified with the Arctic Zone of Russian Federation)»: First-Year Research Results / Vitaliy V. Bystrov, Andrey V. Masloboev, Andrey G. Oleynik, Vladimir A. Putilov, Sergey Yu. Yakovlev. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*. 2016, vol. 1 (24), pp. 127-133.