

УДК 004.89, 004.942, 338.24

**ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ АГЕНТНАЯ ПЛАТФОРМА
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОЛИМОДЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПОДДЕРЖКИ
УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ РЕГИОНА**

А.В. Маслобоев, А.В. Горохов

Предложен когнитивный подход к решению задач информационно-аналитической поддержки управления глобальной безопасностью регионального развития, основанный на комбинировании методов концептуального, системно-динамического и мультиагентного моделирования сложных динамических систем и процессов информатизации. Подход обеспечивает создание технологий построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений в сфере прогнозирования и стратегического планирования безопасного развития региональных социально-экономических систем. Разработаны архитектура и базовые компоненты распределенной проблемно-ориентированной агентной платформы для создания полимодельных комплексов поддержки управления безопасностью региона.

Ключевые слова: когнитивные информационные технологии, моделирование, системная динамика, мультиагентные технологии, полимодельный комплекс, управление, глобальная безопасность, регион.

Введение

На сегодняшний день когнитивный подход и реализующие его когнитивные технологии широко применяются для решения трудноформализуемых задач в различных предметных областях. Они обеспечивают возможность рационализации и формализации сложных объектов и процессов информатизации для получения новых знаний об исследуемых процессах и объектах в условиях неопределенности и неполноты информации, а также для создания интеллектуальных систем поддержки принятия решения, экспертизы и коммуникации в сфере прогнозирования и стратегического планирования развития сложных динамических систем. Это обуславливает целесообразность применения когнитивных технологий для решения широкого спектра задач управления безопасностью развития региональных социально-экономических систем (СЭС) [1].

Предполагаемые новые решения рассматриваемого класса задач также основаны на когнитивном подходе, новизна которого для данного исследования заключается в интеграции современных научных концепций: методологии концептуального моделирования, технологии системно-динамического моделирования, технологий мультиагентных систем и методов математической теории безопасности, что позволит получить качественно новые результаты в области создания систем информационно-аналитической поддержки функционирования и развития сложных динамических систем.

Основное направление исследований – разработка и развитие когнитивных информационных технологий и компьютерного моделирования для исследования и управления безопасностью функционирования сложных СЭС и процессов. Конкретная фундаментальная задача, на решение которой направлены исследования – разработка когнитивных моделей и технологий реализации целостной распределенной информационно-аналитической среды поддержки управления безопасностью развития Арктических регионов РФ (на примере Мурманской области) с целью обеспечения эффективности согласованной деятельности организационных структур в области решения задач управления безопасностью функционирования региональных СЭС для повышения оперативности, системности и качества планирования и проведения предупредительных мероприятий в области обеспечения региональной безопасности.

**Синтез концептуальных, системно-динамических и мультиагентных моделей
для задач управления регионом**

Развитие подхода к интеграции методологий концептуального моделирования, мультиагентных технологий и системно-динамического моделирования обеспечивает базис для нового решения в области использования ситуационных мультиагентных систем поддержки принятия решений – создания когнитивных агентов с имитационным аппаратом [2, 3], а также возможность создания полимодельных комплексов пространственно-распределенных сложных систем [4]. Полученные комплексы являются основой для формирования и исследования сценариев развития региона с имитацией сложных динамических процессов и взаимодействий между субъектами проблемно-ориентированной деятельности, представляемых проактивными агентами. Возможность когнитивных агентов прогнозировать на основе системно-динамического моделирования последствия своего поведения в виртуальной среде (единой информационной среде поддержки безопасности региона) с учетом возможных изменений среды и действий других агентов позволит субъектам – «владельцам» агентов оперативно сформировать и сопоставить вари-

анты своего поведения в реальном мире. Использование когнитивных агентов с имитационным аппаратом обеспечивает возможность целенаправленного управления безопасностью региональной СЭС как в стабильных условиях, так и в критических ситуациях.

Имитационный аппарат включает комплекс системно-динамических шаблонов для имитационного моделирования задач управления безопасностью развития региона. Моделирование глобальной безопасности развития региона реализуется с использованием технологии гибкого формирования моделей функционирования региональных подсистем и их компонентов на основе комплекса имитационных шаблонов типовых задач управления безопасностью, адаптируемых к социально-экономическим условиям. Синтез проблемно-ориентированной имитационной модели из шаблонов осуществляется на основе концептуального описания решаемой задачи. Типовые шаблоны разработаны для таких концептуальных классов, как объекты обеспечения безопасности, субъекты безопасности, действующие факторы (внутренние и внешние угрозы безопасности), ситуации, сценарии снижения рисков возникновения потенциальных угроз безопасности. В ходе исследований созданы библиотеки типовых имитационных шаблонов и инструментальные средства их дистанционного использования. Варианты реализации имитационного аппарата когнитивных агентов субъектов проблемно-ориентированной деятельности на основе совместного использования системно-динамических и агентных моделей предложены в работе [3].

Метод системной динамики. Любое моделирование СЭС с достаточной для получения практически значимых результатов полнотой и многосторонностью заставляет рассматривать их как сложные динамические системы. Одной из важнейших особенностей таких систем является наличие большого числа петель обратной связи и сильное взаимное влияние между параметрами системы. Иначе говоря, в системе практически отсутствуют независимые управляющие параметры. Это приводит к появлению в развитии систем периодов неожиданного, случайного поведения. На принципиальную невозможность полноты информации о сложной системе в окрестности бифуркации указывал в начале 1980-х г.г. академик Н.Н. Моисеев [5]. Задача такого моделирования выходит за рамки формальных постановок и существенно ограничивает возможность применения математических методов описания поведения систем на базе статистического материала. Поиск путей решения названных проблем привел к появлению специализированного метода имитационного моделирования – системной динамики [4]. Метод системной динамики позволяет исследовать поведение сложных систем, опираясь на возможности компьютерного моделирования.

В Институте информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН разработан метод концептуального синтеза динамических моделей сложных систем [6]. Метод основан на использовании концептуальной модели (КМ) как средства формализации наиболее трудоемкого этапа динамического моделирования – это синтез модели системной динамики. Метод позволил снизить трудоемкость и сократить сроки динамического моделирования СЭС регионального уровня. Основные аспекты новизны метода следующие:

- экспертные знания формализуются в виде КМ, построенной с помощью функционально-целевой технологии;
- КМ реализуется в виде базы знаний древовидной структуры. Кроме того, база знаний содержит объекты системы динамического моделирования и формальные процедуры;
- разработаны формальные процедуры, обеспечивающие синтез модели системной динамики из объектов системы динамического моделирования;
- модель системной динамики однозначно синтезируется из соответствующей КМ.

Функционально-целевой подход к разработке КМ сложной системы. Функционально-целевой подход (ФЦП) предложен в начале 1980-х г.г. [7] для решения проблем управления сложными распределенными объектами. Исходная посылка ФЦП – решение проблем через формирование системы целей. Цель достигнута, если решена соответствующая задача. Решение задач обеспечивается соответствующими функциями синтезируемой системы. ФЦП обеспечивает структурный синтез систем, функции которых (т.е. поведение системы) обеспечивают решение соответствующих задач. Методами ФЦП синтезируется КМ предметной области в виде многоуровневой древовидной системы целей. В ФЦП эта иерархия целей используется не только как обычное средство наглядного структурного описания, но и как инструмент структурно-алгоритмического проектирования системы, обеспечивающей учет особенностей структуры целевой предметной области. Для обеспечения таких возможностей модель функций системы имеет структуру, аналогичную структуре модели целевой предметной области, а модель функций определяет структуру синтезируемой системы. Модели, разработанные с помощью ФЦП, основаны на двух-операционных алгебрах целей и функций. Это означает, что в иерархической системе целей любая цель достигается последовательно-параллельными композициями подцелей нижележащего уровня. ФЦП дает соответствие между целями различных уровней КМ по следующему принципу: каждой цели соответствует функция, обеспечивающая достижение этой цели. Эти функции, в свою очередь, являются целями, достигаемыми на следующем, более низком уровне иерархии модели.

Реализация КМ в виде базы знаний и формальные процедуры, обеспечивающие синтез модели системной динамики. КМ СЭС строится в результате декомпозиции, а цель исследования определяет критерий этой декомпозиции. В общем виде задача формальной декомпозиции сложной системы не решена. Это объясняется тем, что декомпозиция является этапом анализа, а анализ как метод познания мира, по известным причинам, не может быть формализован и всегда выполняется исследователями на основе их ментальных моделей, которые также не формализуемы полностью.

Реализация КМ в виде базы знаний дает возможность использовать экспертные знания автономно (без участия экспертов) для синтеза моделей системной динамики. Эта задача решается путем преобразования декларативных знаний о предметной области в процедурные знания системной динамики с помощью набора формальных правил [8]. К декларативным знаниям базы знаний относятся: набор примитивов КМ, набор действий, набор элементарных объектов системы динамического моделирования, справочники и кодификаторы, содержащие текстовые знания экспертов об исследуемой предметной области. К процедурным знаниям базы знаний относятся процедуры вывода. Процедуры вывода представляют собой отображения структур КМ, в данном случае это декларативные знания базы знаний, в структуры динамических моделей. Данные процедуры алгоритмизированы и реализованы в виде инструментальной системы поддержки создания КМ сложных систем и синтеза соответствующих им динамических моделей [9].

Взаимодействие системно-динамической и мультиагентной моделей. Среди существующих подходов к построению мультиагентных систем можно выделить два подхода и, соответственно, два класса систем [10]:

1. распределенные мультиагентные системы с «высокоинтеллектуальными» агентами;
2. мультиагентные системы, 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, как правило, реализует простые алгоритмы поведения, однако в результате взаимодействия агентов возможно решение сложных задач, которые каждый агент по отдельности решить не в состоянии.

В данном исследовании рассматривается второй класс систем. В результате реализации ФЦП получается два дерева: дерево объектов и дерево целей. Дерево целей используется для синтеза мультиагентной модели. Декомпозиция выполняется до тех пор, пока не достигнут уровень «примитивных» целей, реализуемых агентами с простыми алгоритмами. Достижение примитивных целей обеспечивает достижение глобальной цели исследуемой системы.

Полученные модели взаимодействуют следующим образом. Системно-динамическая модель дает прогноз тенденций развития системы, в зависимости от которого «включаются» те или иные алгоритмы агентов (рис. 1).

Предположим, исследования системно-динамической модели сложного объекта управления показывают, что объект входит в окрестности бифуркации («красный» свет на рис. 1). 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 ФЦП). 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 (рис. 1). 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.

Таким образом, для целей моделирования и управления сложной системой (региональной СЭС) имеем ансамбль моделей, представляющий собой полимодельный комплекс, состоящий из моделей трех типов: концептуальных, системно-динамических и мультиагентных. КМ используется для интеграции системно-динамических и мультиагентных моделей и обеспечения их адекватности целям управления.

В ходе исследований предложена формализованная система знаний о существующих и возможных подходах к решению задач управления глобальной безопасностью регионального развития и связанных с этими задачами информационных процессах, реализованная в виде мультиагентной КМ интегрированной информационно-аналитической среды поддержки управления безопасностью региона [11], представляющей собой базу знаний древовидной структуры, образующую интеллектуальную подсистему гибридной InteRRap-архитектуры когнитивных программных агентов субъектов безопасности (рис. 2). Модель обеспечивает основу для автоматизации и имитационного моделирования типовых про-

цессов управления безопасностью с целью синтеза виртуальных организационных структур безопасности под конкретную задачу. КМ определяет степень интеллектуальности когнитивных агентов: чем точнее составлена модель, чем более корректно обозначены связи, тем полнее агент представляет предметную область, для которой он существует.

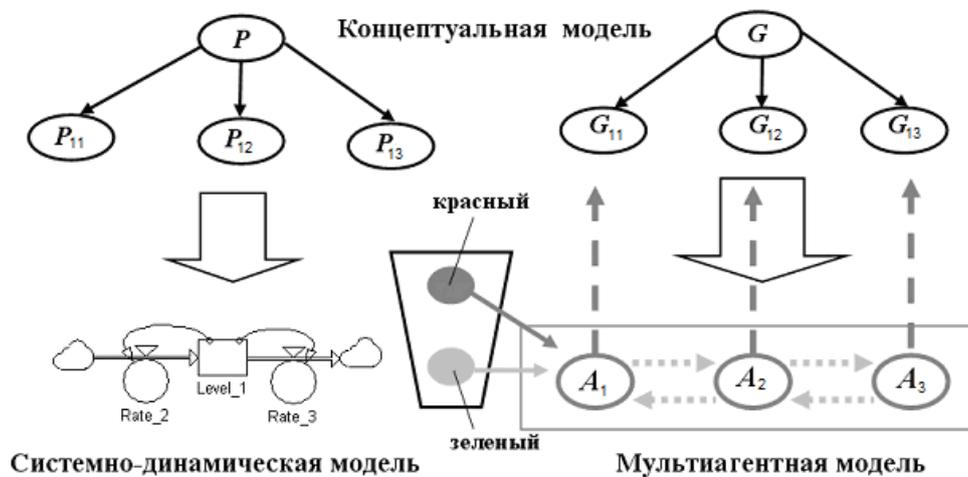


Рис. 1. Синтез и взаимодействие концептуальной, системно-динамической и мультиагентной моделей: G – множество целей, представленных в модели; P – множество параметров, описывающих множество задач, решение которых необходимо для достижения поставленной цели; A – множество агентов системы

Из построенной КМ следует система показателей безопасности – набор определенных параметров для каждой области безопасности, которые используются в качестве входных и выходных параметров соответствующих имитационных моделей, спецификация которых формируется на основе концептуального описания для решения конкретной задачи. Имитационные модели реализуются с помощью агентной технологии и системной динамики. Системно-динамические модели используются для приближенного прогноза и выявления тенденций в динамике основных социально-экономических показателей безопасности развития региона, а агентные модели – для более точных количественных оценок этих показателей.

Архитектура проблемно-ориентированной агентной платформы для создания полимодельных комплексов поддержки управления безопасностью

Основная задача проблемно-ориентированной агентной платформы – обеспечение технологической основы для создания и использования полимодельных комплексов поддержки управления безопасностью функционирования сложных динамических систем и поддержание их корректной работы в процессе решения индивидуальных и групповых задач программными когнитивными агентами субъектов безопасности для достижения заданной цели.

В ходе исследований предложены общие принципы формирования и архитектура распределенной проблемно-ориентированной агентной платформы для создания и использования полимодельных комплексов поддержки управления безопасностью региона на основе мультиагентного подхода и технологий одноранговых распределенных информационных систем [12]. Архитектура состоит из когнитивных программных агентов основных типов субъектов безопасности, реализованных в виде отдельных приложений, взаимодействующих между собой. Каждый из агентов технически реализуется в виде локальных программ (.exe) или веб-сервисов. Программный агент обладает модульной структурой, и в его состав 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 др.

Компонентный состав архитектуры проблемно-ориентированной агентной платформы поддержки управления безопасностью также образует 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 предлагается использовать программные адаптеры ресурсов, реализующие специфичные для каждого конкретного ресурса механизмы доступа и извлечения данных.

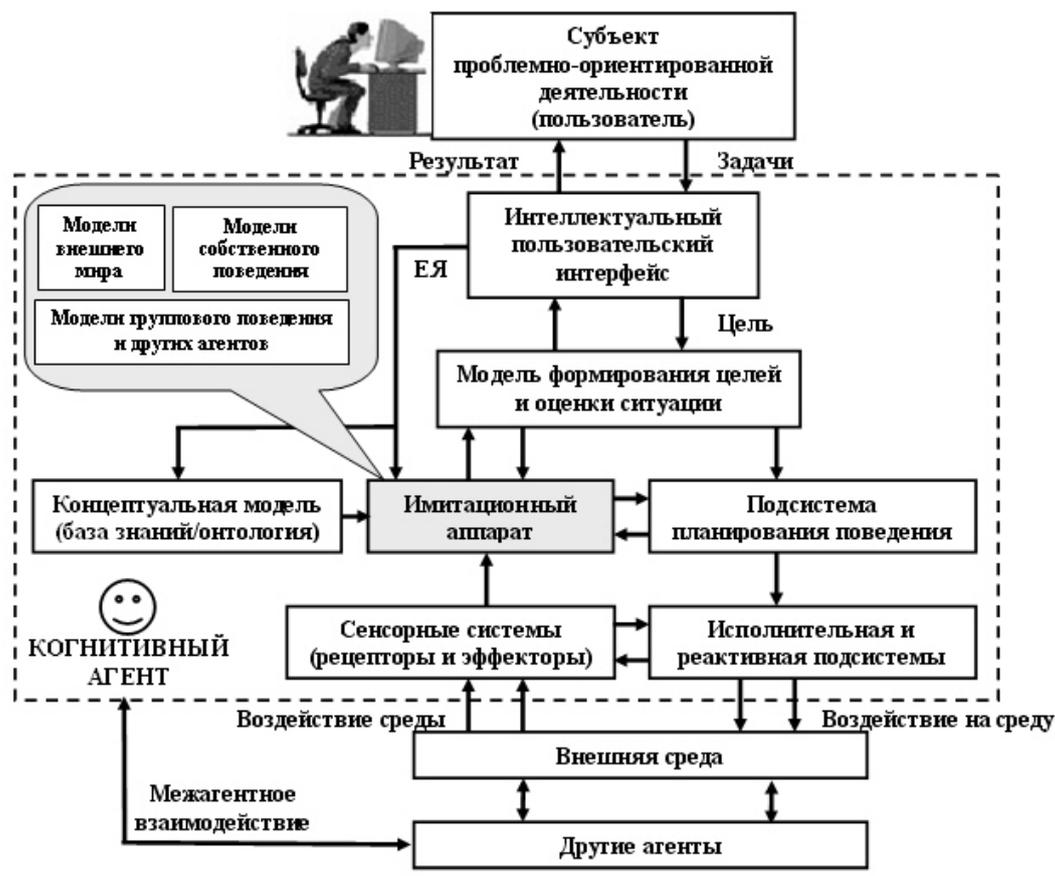


Рис. 2. Архитектура когнитивного агента с имитационным аппаратом

Вместе с тем разработаны специализированные компоненты распределенной агентной платформы для создания полимодельных комплексов поддержки управления безопасностью: 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 др. Предложенные компоненты обеспечивают расширение возможностей существующих агентных платформ, применяемых для поддержки функционирования и взаимодействия программных когнитивных агентов, представляющих интересы реальных субъектов проблемно-ориентированной деятельности в виртуальных распределенных информационных средах.

Заключение

В ходе проведенных исследований были получены следующие основные результаты.

1. Предложен когнитивный подход к решению задач информационно-аналитической поддержки управления глобальной безопасностью регионального развития. Подход основан на интеграции методологий концептуального моделирования, системно-динамического моделирования и мультиагентных технологий и обеспечивает возможность разработки нового класса самоорганизующихся интеллектуальных систем – когнитивных агентов с имитационным аппаратом, а также создания полимодельных комплексов когнитивных и имитационных моделей для исследования сложных динамических систем и процессов.
2. Разработаны архитектура и базовые компоненты распределенной проблемно-ориентированной агентной платформы поддержки создания и использования полимодельных комплексов для задач управления безопасностью развития региональных СЭС.
3. Создана программная система поддержки создания КМ сложных систем и синтеза соответствующих им динамических моделей, представляющая собой интегрированную инструментальную среду для реализации интерактивного процесса создания КМ СЭС в виде баз знаний и синтеза на их основе моделей системной динамики [9].

Литература

1. Маслобоев А.В., Путилов В.А. Информационно-аналитическая поддержка управления безопасностью развития Арктических регионов России: задачи, методы, технологии // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – № 3 (73). – С. 143–145.
2. Калущая А.П., Тарасов В.Б. Моделирование взаимодействия робота с внешней средой на основе пространственных логик и распространения ограничений // Программные продукты и системы. – 2010. – № 2. – С. 174–178.
3. Маслобоев А.В. Гибридная архитектура интеллектуального агента с имитационным аппаратом // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. – 2009. – Т. 12. – № 1. – С. 113–125.
4. Путилов В.А., Горохов А.В. Системная динамика регионального развития. – Мурманск: НИЦ «Пазори», 2002. – 306 с.
5. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 488 с.
6. Горохов А.В., Путилов В.А. Синтез системно-динамических и мультиагентных моделей для задач управления регионом // Теория и практика системной динамики: Труды Всерос. науч. конф. (Апатиты, 13–15 сентября 2004 г.). – Апатиты: КНЦ РАН, 2004. – С. 21–27.
7. Игнатъев М.Б., Путилов В.А., Смольков Г.Я. Модели и системы управления комплексными экспериментальными исследованиями. – М.: Наука, 1986. – 232 с.
8. Емельянов С.В., Попков Ю.С., Олейник А.Г., Путилов В.А. Информационные технологии регионального управления. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 400 с.
9. Горохов А.В., Малыгина С.Н., Маслобоев А.В. Программная система поддержки создания концептуальных моделей сложных систем // Рекламно-техническое описание алгоритма и программной модели реализации (программного средства). – М.: ИИММ КНЦ РАН, 2011. – 14 с.
10. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 352 с.
11. 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.
12. Маслобоев А.В., Шишаев М.Г. Архитектура и технологии формирования интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью развития региона // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – № 6 (76). – С. 98–104.

Маслобоев Андрей Владимирович – Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН, кандидат технических наук, доцент, докторант, masloboev@iimm.kolasc.net.ru

Горохов Андрей Витальевич – Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН, доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией, gorokhov@iimm.kolasc.net.ru