



УДК 004.942, 338.24

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ФОРМИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ МОДЕЛЯМИ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ

А.В. Маслобоев^{a,b}, А.Г. Олейник^{a,b}, М.Г. Шишаев^{a,b}

^a Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН, г. Апатиты Мурманской обл., 184209, Российская Федерация

^b Кольский филиал Петрозаводского государственного университета, г. Апатиты Мурманской обл., 184209, Российская Федерация

Адрес для переписки: masloboev@iimm.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 06.04.15, принята к печати 01.06.15

doi:10.17586/2226-1494-2015-15-4-748-755

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: 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.

Аннотация

Основное направление исследований связано с разработкой информационных технологий и средств компьютерного моделирования для информационно-аналитической поддержки управления сложными слабоструктурированными системами. Среди множества представителей данного класса систем в работе рассматриваются региональные социально-экономические системы. Исследования проводятся в рамках реализации стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года на территории Мурманской области в части создания современной информационной инфраструктуры для задач управления инновационным и безопасным развитием региона. Методы исследования включают метод системно-динамического моделирования, методы проектирования распределенных информационных систем, методы шаблонного проектирования на основе паттернов. Работа посвящена созданию инструментария для решения задач информационной поддержки принятия решений в сфере управления инновационной безопасностью региональной экономики. Для этого в ходе исследований разработаны комплекс системно-динамических моделей типовых составляющих инновационных процессов и информационная технология дистанционного формирования и управления имитационными моделями инновационной деятельности. Разработки обеспечивают прогнозирование динамики показателей инновационной безопасности региона и результативности инновационной деятельности. Информационная технология реализована в рамках архитектуры «тонкий клиент» и предназначена для автоматизации процесса создания имитационных моделей сложных систем. Средства реализации технологии обеспечивают распределенное формирование системно-динамических моделей и управление процессом имитационного моделирования инновационной деятельности на базе модельных шаблонов типовых инновационных процессов. Технология обеспечивает повышение показателей доступности и повторного использования средств информационной поддержки инновационных процессов за счет распределенного доступа к средствам имитационного моделирования инновационной деятельности и формирования моделей из повторно используемых компонентов, моделирующих типовые элементы инновационных процессов. Отличительной особенностью реализованной технологии является перевод описаний системно-динамических шаблонов в XML-формат, что позволяет использовать модели автономно (без среды моделирования). Предлагаемые разработки являются предметно-независимыми и могут быть использованы для создания систем моделирования других предметных областей.

Ключевые слова

информационная технология, имитационное моделирование, системная динамика, модельный шаблон, инструментальные средства, управление, инновационная безопасность, регион.

Благодарности

Результаты работы получены в ходе исследований, проводимых по планам научно-исследовательских работ Института информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН (НИР № 01201452426 «Методы и когнитивные технологии создания, исследования и использования виртуальных систем поддержки управления комплексной безопасностью развития Арктической зоны Российской Федерации»). Работа поддержана грантом РФФИ (проект № 15-07-04290).

REMOTE SYNTHESIS AND CONTROL INFORMATION TECHNOLOGY OF SYSTEM-DYNAMIC MODELS

A.V. Masloboev^{a,b}, A.G. Oleynik^{a,b}, M.G. Shishaev^{a,b}

^a Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, 184209, Russian Federation

^b Kola Branch of Petrozavodsk State University, Apatity, 184209, Russian Federation

Corresponding author: masloboev@iimm.ru

Article info

Received 06.04.15, accepted 01.06.15

doi:10.17586/2226-1494-2015-15-4-748-755

Article in Russian

For citation: Masloboev A.V., Oleynik A.G., Shishaev M.G. Remote synthesis and control information technology of system-dynamic models. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2015, vol.15, no. 4, pp. 748–755.

Abstract

The general line of research is concerned with development of information technologies and computer simulation tools for management information and analytical support of complex semistructured systems. Regional socio-economic systems are considered as a representative of this system type. Investigation is carried out within the bounds of development strategy implementation of the Arctic zone of the Russian Federation and national safety until 2020 in the Murmansk region, specifically under engineering of high end information infrastructure for innovation and security control problem-solving of regional development. Research methodology consists of system dynamics modeling method, distributed information system engineering technologies, pattern-based modeling and design techniques. The work deals with development of toolkit for decision-making information support problem-solving in the field of innovation security management of regional economics. For that purpose a system-dynamic models suite of innovation process standard components and information technology for remote formation and control of innovation business simulation models under research have been developed. Designed toolkit provides innovation security index dynamics forecasting and innovation business effectiveness of regional economics. Information technology is implemented within the bounds of thin client architecture and is intended for simulation models design process automation of complex systems. Technology implementation software tools provide pattern-based system-dynamic models distributed formation and simulation control of innovation processes. The technology provides availability and reusability index enhancement of information support facilities in application to innovation process simulation at the expense of distributed access to innovation business simulation modeling tools and model synthesis by the reusable components, simulating standard elements of innovation processes. The distinctive feature of the developed technology is system-dynamic pattern description translation into XML-format. That gives the possibility for autonomous model application (without modeling environment). Proposed working-out results are domain-independent and are usable for modeling systems engineering for different knowledge domains.

Keywords

information technology, simulation, system dynamics, model pattern, toolkit, control, innovation security, region.

Acknowledgements

Findings of this investigation are received within the bounds of research works carried out according to research plans of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences (project 01201452426 "Methods and cognitive technologies for engineering, analysis and application of the virtual systems for complex security management support of the Arctic zone of the Russian Federation development"). The work was granted by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR grant No. 15-07-04290).

Введение

В настоящее время проблемы информационной поддержки управления инновационной и кадровой безопасностью развития региональных социально-экономических систем, согласно [1, 2], не теряют своей остроты и актуальности. Информационная поддержка представляет собой механизм управления, основанный на информационном сопровождении процесса выработки и реализации управленческих решений в ситуациях, когда управляющее воздействие носит неявный, косвенный характер, и субъекту управления предоставляется информация о ситуации, ориентируясь на которую, он получает возможность корректировать линию поведения объекта управления. В работе в качестве такого объекта рассматривается инновационная безопасность региональной экономики [3].

Создание и использование средств информационно-аналитической поддержки в данной области должно не только повысить качество и обоснованность принимаемых решений, но и обеспечить их оперативность, а также более полный учет разнородных факторов, влияющих на результаты их реализации. При этом в силу специфики предметной области создаваемые модели должны быть легко адаптируемы к изменяющимся условиям, а инструментальные средства информационной поддержки ориентированы на конечных пользователей, предоставляя им возможность самостоятельно настраивать модели и управлять процессом моделирования.

Для решения этой задачи нашли применение разработанные в ходе исследований комплекс имитационных моделей инновационной деятельности и информационная технология распределенного моделирования региональных инновационных процессов. На начальных этапах исследования разработанная технология и инструментальные средства моделирования были апробированы на задачах информацион-

ной поддержки управления образовательными инновациями и кадровой безопасностью региональной экономики. Далее область применения разработок, включая созданные шаблоны для моделирования различных аспектов развития регионального научно-образовательного комплекса, была расширена на задачи управления инновационной безопасностью.

Общая характеристика информационной технологии моделирования

Для автоматизации процесса создания и использования проблемно-ориентированных имитационных моделей и полимодельных комплексов в рамках сервис-ориентированной распределенной агентной платформы региональной безопасности [4] разработана информационная технология дистанционного формирования и управления моделями системной динамики, средства реализации которой предложены в работе [5]. Технология обеспечивает построение моделей сложных систем и процессов на базе системно-динамических моделей их типовых составляющих – «паттернов» или «модельных шаблонов» [6], т.е. формирование имитационных моделей на основе ограниченного набора (библиотеки) системно-динамических шаблонов. Идеологически реализованная в рамках технологии идея близка к технологии паттернов проектирования [7], которая в настоящее время успешно применяется при разработке программного обеспечения, сложных прикладных онтологий и в других областях автоматизированного проектирования.

Под шаблоном, согласно [8], подразумевается некоторая конструкция, имеющая установившуюся во времени структуру и набор входных, выходных параметров и начальных значений. В работе шаблон реализуется в виде конструкции на языке системной динамики, и спецификация шаблона производится с учетом этого фактора.

В работах [5, 9–11] рассматриваются различные вопросы использования типовых модельных шаблонов (паттернов проектирования) для автоматизации построения динамических моделей сложных процессов и систем. Развиваемый в этих работах общий подход к синтезу и анализу имитационных моделей на основе паттернов существенно повышает корректность моделей и сокращает сроки их разработки. Эффективность такого подхода показана на задачах информационной поддержки управления организационными и техническими системами из различных предметных областей (экономика, образование, телекоммуникации, региональное управление и др.).

Реализуемая технология моделирования состоит из следующих этапов.

1. Анализ предметной области с целью выделения ограниченного набора типовых процессов, определяющих динамику развития рассматриваемой системы.
2. Создание базовых системно-динамических шаблонов для каждого типового процесса.
3. Синтез на основе системно-динамических шаблонов мобильных шаблонов, формирующих библиотеку шаблонов прикладной среды моделирования.
4. Синтез имитационной модели анализируемого сложного процесса путем связывания имеющихся в библиотеке шаблонов образующих его «типовых» процессов.
5. Ввод в модель исходных данных, настройка параметров и проведение серии имитационных экспериментов по исследованию вариантов развития анализируемого процесса.
6. Анализ результатов моделирования и принятие решения.

Формализовать первый этап реализуемой технологии достаточно сложно. Обычно он реализуется в ходе итерационного диалога специалистов предметной области и разработчиков модели. В качестве инструментальных средств, обеспечивающих поддержку этого этапа, можно указать средства построения формализованных концептуальных моделей или онтологий [12]. При применении рассматриваемой технологии следует помнить, что средства системно-динамического моделирования позволяют имитировать динамику исследуемой системы, но не предусматривают автоматизированное вычисление значений параметров, которые обеспечат оптимальное или, по крайней мере, приемлемое развитие системы. Исходя из этого, анализ сформированных в результате имитационного эксперимента значений, характеризующих траектории развития моделируемой системы, также находится за пределами функциональных возможностей рассматриваемых ниже инструментальных средств.

Средства реализации информационной технологии моделирования

Практическая реализация этапов 2–5 представленной технологии осуществляется с использованием интегрированной среды системно-динамического моделирования Powersim Studio SDK [13] норвежской компании Powersim Software AS и двух специализированных приложений – редактора шаблонов и системы прикладного имитационного моделирования.

Powersim содержит многие стандартные средства Windows-приложений и поддерживает технологии DDE (Dynamic Data Exchange), OLE (Object Linking and Embedding), COM (Component Object Model) и ActiveX. В работе [14] представлен обзор возможностей пакета Powersim Studio SDK, существенных для разрабатываемых средств моделирования, например, возможность создания веб-симуляций.

Инструментальная среда для разработки и гибкого использования имитационных моделей включает три модуля, каждый из которых ориентирован на пользователей определенной категории.

Первой категорией пользователей являются разработчики базовых системно-динамических шаблонов. Для каждого определенного на этапе 1 типового процесса предметной области непосредственно в среде Powersim разработчики создают системно-динамическую модель в виде шаблона. Основная задача на данном этапе – формирование структуры модели, адекватно представляющей соответствующий процесс. Конкретные значения параметров сформированной модели на данном этапе не задаются. Комплекс сформированных системно-динамических шаблонов сохраняется в формате среды Powersim (*.sip). Технология, предусматривающая использование ограниченного набора базовых шаблонов – «паттернов» – в качестве «строительных блоков», облегчающих формирование сложных системно-динамических моделей, применяется уже длительное время [5]. Однако непосредственная реализация данной технологии требует постоянного использования среды системно-динамического моделирования, что ограничивает возможности тиражирования прикладных имитационных моделей. Избежать указанной проблемы и обеспечить возможность тиражирования и практического использования системно-динамических моделей без непосредственного взаимодействия конечного пользователя со средой системно-динамического моделирования позволяют созданные в ходе исследований специализированные приложения, логика работы которых будет рассмотрена далее.

Редактор мобильных шаблонов ориентирован на «продвинутого» пользователя, являющегося не только специалистом предметной области, но и имеющего определенную подготовку в области использования средств системно-динамического моделирования и организации имитационных экспериментов. Основная функция этого приложения – формирование на основе базового шаблона, созданного в среде системно-динамического моделирования и сохраненного в ее формате, спецификации фрагмента системно-динамической модели, задаваемой этим шаблоном, на языке XML. На вход редактора подается базовый системно-динамический шаблон в формате среды Powersim (*.sim). Для каждого элемента шаблона в автоматическом режиме редактором синтезируется соответствующий тег описания на языке XML. Кроме этого, редактор предоставляет диалоговые средства, которые дают возможность пользователю установить для любого элемента шаблона (кроме констант) атрибуты, определяющие доступность элемента для присвоения значения в прикладной системе моделирования и его использования для установления связей с другими шаблонами при формировании имитационной модели сложного процесса. Диалоговая форма редактора мобильных шаблонов и XML-спецификация шаблона показаны на рис. 1.

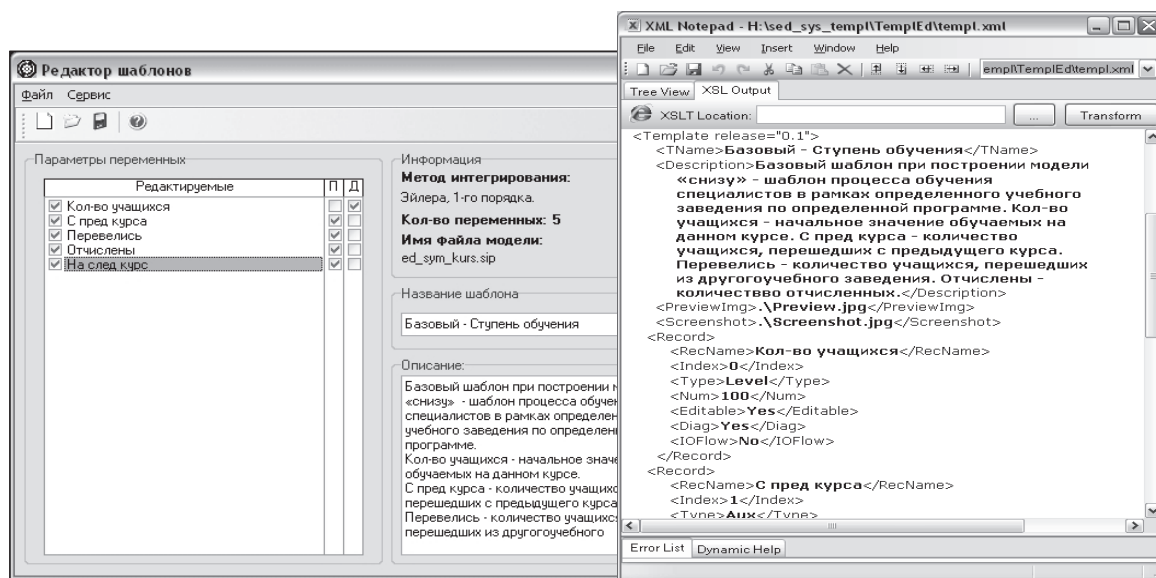


Рис. 1. Диалоговая форма редактора мобильных шаблонов и XML-спецификация шаблона

В результате работы редактора шаблонов формируется структура, которая объединяет описание базового шаблона в формате среды Powersim, спецификацию этого шаблона в XML-формате с заданными опциями доступа к элементам и их отображения, а также изображение (схему) системно-динамического шаблона в графическом формате. Данная структура получила название мобильный шаблон потому, что в дальнейшем она может быть использована для организации и проведения имитационного моделирования автономно, без непосредственного использования интегрированной среды системно-динамического моделирования Powersim. Для формирования имитационных моделей процессов некоторой предметной области создается относительно небольшое множество мобильных шаблонов, которое образуют библиотеку шаблонов прикладной системы имитационного моделирования.

Система прикладного имитационного моделирования включает: исполнительное ядро Powersim; библиотеку мобильных шаблонов и сформированных на их основе имитационных моделей; базу данных (БД), используемых для проведения моделирования. С этой системой работает пользователь, являющийся специалистом предметной области.

Если в библиотеке уже существует готовая модель, обеспечивающая имитацию исследуемого процесса, то, выбрав ее, пользователю достаточно только настроить параметры сеанса моделирования. Данная процедура реализуется путем задания исходных значений переменным и уровням модели, представленным в разделе формы «Настройка шаблона» (рис. 2).

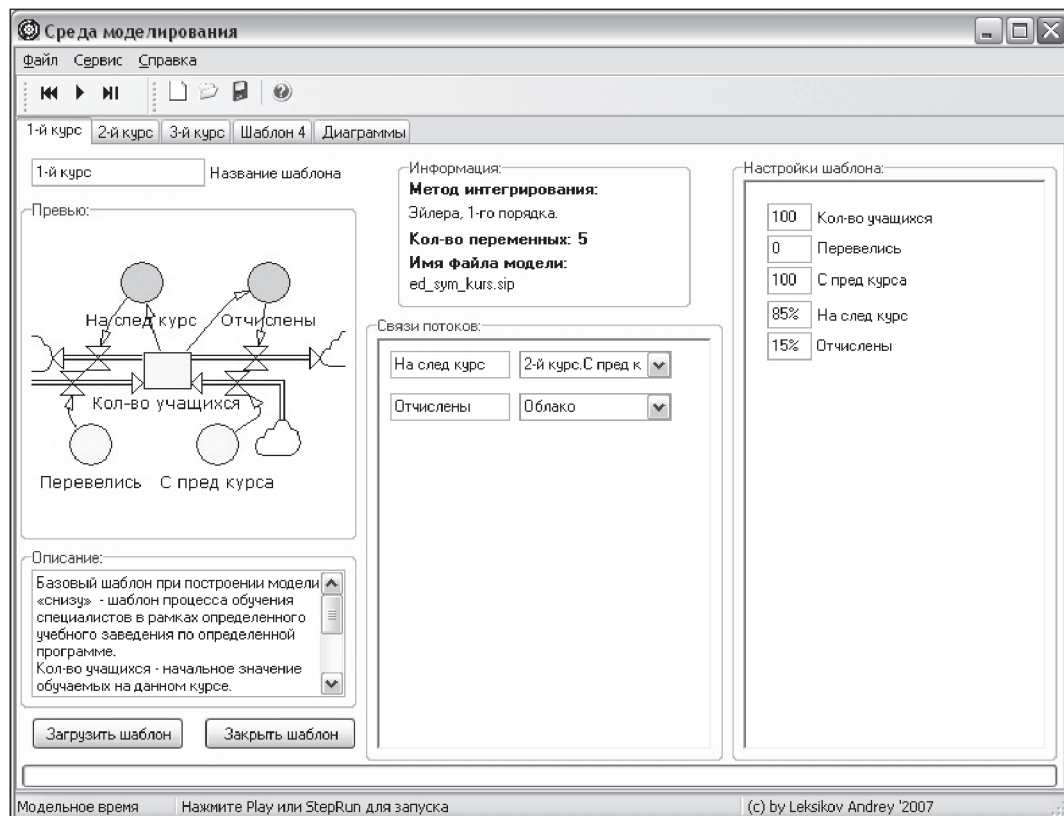


Рис. 2. Форма интеграции шаблонов в модель сложного процесса

В случае, когда готовой модели в библиотеке нет, пользователь должен определить, каким образом исследуемый процесс может быть реализован некоторой совокупностью типовых процессов, шаблоны которых представлены в библиотеке. Затем необходимые шаблоны выбираются из библиотеки, и между ними устанавливаются необходимые связи. Связь определяется путем назначения соответствия выходных элементов одного шаблона входным элементам других, входящих в выбранное для формирования модели множество шаблонов. Доступность элементов шаблона для установки связей определяется системой моделирования автоматически на основе хранимых в XML-спецификации шаблона значений соответствующих атрибутов и настроенных соединений. Элементы, которые можно использовать для установления связей, отображаются в разделе формы «Связи потоков» (рис. 2). Из XML-спецификации система извлекает также указания о том, вывод каких графиков и диаграмм динамики изменения значений элементов включенных в модель шаблонов возможен в процессе имитационного эксперимента.

Каждый мобильный шаблон имеет атрибут *Timestep*, определяющий значение шага модельного времени данного шаблона. При соединении некоторого множества шаблонов в единую модель необходимо решить задачу синхронизации их модельного времени. Данную задачу решает специальная процедура, которая на основе атрибутов *Timestep* вычисляет нормирующие коэффициенты, обеспечивающие приведение модельного времени каждого шаблона к единому значению. В качестве основного шага модели, интегрирующей несколько шаблонов, используется минимальное значение атрибута *Timestep* из рассматриваемого множества: $tm = \min(\{Timestep_i\})$. В результате в интегрированной модели значения элементов шаблонов, имеющих временной шаг, отличный от основного, пересчитываются только через $Timestep_i/tm$ тактов модельного времени.

На рис. 3 показана схема клиент-серверной структуры системы, реализующей распределенное имитационное моделирование с использованием технологии системно-динамических шаблонов. Система

формируется по модульному принципу, что обеспечивает ее высокую адаптивность и легкую расширяемость.

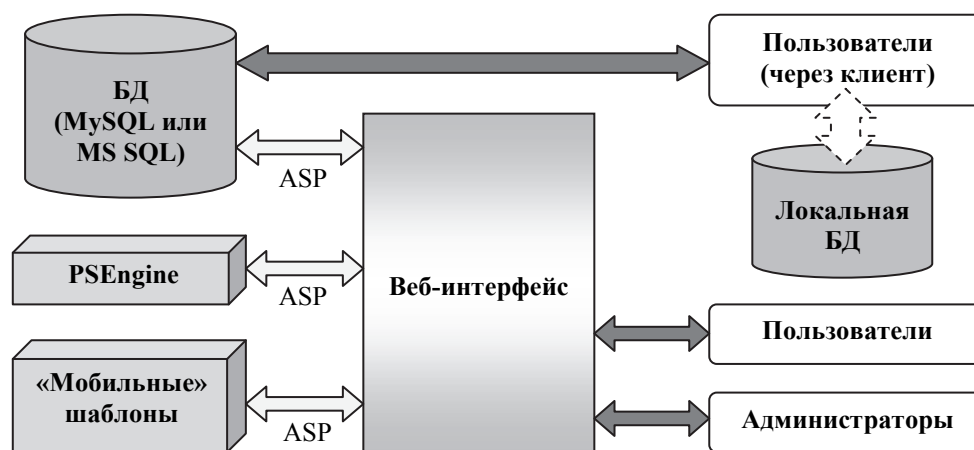


Рис. 3. Общая структура системы

При разработке предусматривались три варианта использования системы.

1. «Сборка» проблемно-ориентированной модели с использованием хранимой библиотеки имитационных шаблонов или выбор готовой хранимой модели и реализация сеанса имитационного моделирования на сервере.
2. Формирование пользователем «собственной» проблемно-ориентированной модели и реализация сеанса моделирования клиентом с использованием данных, хранимых на сервере.
3. Формирование клиентами «собственных» моделей и использование в сеансах моделирования «собственных» баз данных. В этом случае сервер предоставляет пользователям библиотеку шаблонов и, при необходимости, некоторые данные из общей базы.

Организация решения задачи на сервере позволяет достаточно просто организовать «диалог» между всеми заинтересованными сторонами. Для этого формируется некоторая общая «тематическая» рабочая область – проект на сайте, к которому имеет доступ ограниченное число заинтересованных пользователей системы. Практически это реализуется на основе вики-образной технологии. В рамках этой области с использованием общих имитационных моделей рассматриваемой проблемы реализуется итерационное согласование запросов пользователей – субъектов управления и, при необходимости, вырабатываются совместные управленческие решения. Использование общей имитационной модели, различные параметры которой управляются непосредственно субъектами, от которых они зависят в реальной системе, позволит обеспечить не только «наглядность» диалога, но также реалистичность и обоснованность требований и решений.

Ключевым решением, позволяющим пользователям формировать собственные проблемно-ориентированные модели на сервере и «переносить» системно-динамические шаблоны на клиентские компьютеры, являются мобильные шаблоны.

Для обеспечения серверного режима функционирования системы использованы следующие технологии:

- веб-сервер MS IIS (Internet Information Services) для управления веб-сайтом;
- технологии ASP (Active Server Pages), Microsoft MSXML парсер (позволяет упростить работу с XML-документами);
- ActiveX Control PSEngine, предоставляемый Powersim Studio 2005 SDK.

Выбор веб-сервера обусловлен требованием «ядра» системы – Powersim Studio SDK. Парсер MSXML является практически стандартом работы с XML-документами, имеет большие возможности и достаточно прост в использовании.

Комплекс имитационных моделей процессов рыночной диффузии инноваций

На базе разработанной технологии дистанционного формирования имитационных моделей из типовых модельных шаблонов (паттернов) создан комплекс системно-динамических моделей процессов рыночной диффузии инноваций. Комплекс предназначен для исследования инновационных процессов и обеспечивает прогнозирование показателей инновационной безопасности региона, а также рыночной результативности инновации при различных маркетинговых стратегиях.

На моделях формализованы базовые показатели инновационной безопасности региона, позволяющие оценить результативность инноваций и их влияние на экономику региона. К исследуемым с помощью предлагаемого комплекса моделей показателям инновационной безопасности региона относятся:

1. объем регионального рынка инноваций;

2. количество успешно реализуемых инновационных проектов (уровень инновационной активности);
3. количество подготовленных специалистов новых направлений;
4. объем производимых в регионе инновационных товаров и услуг;
5. удельный вес организаций региона, осуществляющих научно-инновационную деятельность;
6. затраты на инновации и другие макроэкономические показатели.

Главным назначением комплекса моделей как средства информационной поддержки принятия решений в данном случае является повышение эффективности инновационного менеджмента, улучшение качества управленческих решений за счет лучшего понимания их влияния на динамику показателей инновационной безопасности развития региона в динамически изменяющихся социально-экономических условиях.

В состав комплекса входят следующие компоненты (подмодели) [2, 10, 15]:

- ядро, реализованное в виде разновидности эпидемической модели распространения инновационного продукта;
- модель временных параметров жизненного цикла инновации;
- модель ценообразования;
- модель управления рыночным продвижением продукта (рекламой);
- модель управления качеством продукта;
- модель конкурентного рынка;
- модель научно-образовательного комплекса;
- модель социально-экономической системы региона.

Созданные системно-динамические модели могут использоваться как в комплексе, так и по отдельности, для исследования динамики показателей инновационной безопасности при различных сценариях развития региона, а также в составе систем поддержки принятия решений, применяемых в этой сфере.

Заключение

В ходе проведенных исследований получены следующие основные результаты.

1. Разработана информационная технология дистанционного формирования имитационных моделей сложных систем из типовых модельных шаблонов (паттернов). Технология в совокупности с разработанным комплексом моделей инновационных процессов представляет собой эффективный инструмент для информационной поддержки принятия решений в сфере управления инновационной безопасностью региональной экономики.
2. Создан программный комплекс имитационного моделирования инновационной безопасности развития региональной экономики. Программный комплекс интегрирует средства, реализующие мультиагентную и системно-динамическую технологии моделирования, что позволяет оперативно генерировать и выбирать предпочтительные сценарии развития региональных инновационных процессов для обеспечения требуемого уровня инновационной безопасности региона.

References

1. Putilov V.A., Shishaev M.G., Oleynik A.G. Tekhnologii raspredelennykh sistem informatsionnoi podderzhki innovatsionnogo razvitiya regiona [Technology of distributed systems of information support of region innovative development]. *Trudy Instituta Sistemnogo Analiza RAN*, 2008, vol. 39, pp. 40–63.
2. Masloboev A.V. Agent-based models and software for personnel security management information support of regional economics. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie*, 2013, no. 10(101), pp. 66–74. (in Russian)
3. Kuklin A.A., Bagaryakov A.V., Nikulina N.L. Innovation security and living standards of the population in the region. *Vestnik YuUrGU. Seriya: Ekonomika i Menedzhment*, 2013, vol. 7, no. 4, pp. 20–25.
4. Masloboev A.V., Gorokhov A.V. Problemno-orientirovannaya agentnaya platforma dlya sozdaniya polimodel'nykh kompleksov podderzhki upravleniya bezopasnost'yu regiona [Problem-oriented agent-based platform of multi model complexes design for regional safety management support]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2012, vol. 2 (78), pp. 60–65.
5. Oleynik A.G., Leksikov A.N. Instrumental'nye sredstva interaktivnogo formirovaniya imitatsionnykh modelei deyatel'nosti regional'noi sistemy professional'nogo obrazovaniya [Tools of interactive simulation models of regional system activities in professional education]. *Trudy Instituta Sistemnogo Analiza RAN*, 2008, vol. 39, pp. 267–276.
6. Bystrov V.V., Gorokhov A.V. Tekhnologiya kontseptual'nykh shablonov dlya sinteza imitatsionnykh modelei slozhnykh sistem [Technology templates for the synthesis of conceptual simulation models of complex systems]. *Trudy IX Mezhdunarodnoi Konferentsii Problemy Upravleniya i Modelirovaniya v Slozhnykh Sistemakh* [Proc. IX Int. Conf. on Problems of Control and Modeling in Complex Systems]. Samara, Russia, 2007, pp. 462–467.

7. Gamma E., Johnson R., Helm R., Vlissides J. *Design Patterns. Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Addison-Wisley, 1995, 395 p.
8. Kazakov S.A., Shebeko Yu.A. *Vvedenie v Praktiku Imitatsionnoe Modelirovaniya i Analiza Povedeniya Slozhnykh Protessov i Sistem* [Introduction to simulation and behavior analysis of complex processes and systems]. Moscow, MIET Publ., 2006, 147 p.
9. Karpov Yu.G. *Imitatsionnoe Modelirovanie Sistem. Vvedenie v Modelirovanie s AnyLogic 5* [Simulation Systems. Introduction to Modeling with AnyLogic 5]. St. Petersburg, BHV Publ., 2005, 400 p.
10. Putilov V.A., Gorokhov A.V., Bystrov V.V. Sintez imitatsionnykh modelei slozhnykh sistem na osnove ekspertnykh znaniy [Synthesis of simulation models of complex systems based on expert knowledge]. *Informatsionnye Tekhnologii i Vychislitel'nye Sistemy*, 2008, no. 2, pp. 27–35.
11. Datyev I.O., Masloboev A.V. Regional information and communication systems development simulation. *Infokommunikatsionnye Tekhnologii*, 2010, vol. 8, no. 2, pp. 51–56. (in Russian)
12. Oleinik A. *Kontseptual'noe Modelirovanie Regional'nykh Sistem* [Conceptual Modeling of Regional Systems]. LAMBERT Academic Publishing, 2011, 204 p.
13. Putilov V.A., Gorokhov A.V. *Sistemnaya Dinamika Regional'nogo Razvitiya* [System Dynamics of Regional Development]. Murmansk, NITs "Pazori", 2002, 306 p.
14. Sidorenko V.N. *Sistemno-Dinamicheskoe Modelirovanie v Srede POWERSIM* [System-dynamics simulation in POWERSIM]. Moscow, MAKS-PRESS, 2001, 159 p.
15. Shishaev M.G., Malygina S.N., Masloboev A.V. Simulation of innovations market diffusion. *Innovatsii*, 2009, no. 11, pp. 82–86. (in Russian)

- Маслобоев Андрей Владимирович** – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН, г. Апатиты Мурманской обл., 184209, Российская Федерация; заведующий кафедрой, Кольский филиал Петрозаводского государственного университета, г. Апатиты Мурманской обл., 184209, Российская Федерация, заведующий кафедрой, masloboev@iimm.ru
- Олейник Андрей Григорьевич** – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе, Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН, г. Апатиты Мурманской обл., 184209, Российская Федерация; заведующий кафедрой, Кольский филиал Петрозаводского государственного университета, г. Апатиты Мурманской обл., 184209, Российская Федерация, oleynik@iimm.ru
- Шишаев Максим Геннадьевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией, Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН, г. Апатиты Мурманской обл., 184209, Российская Федерация; заместитель директора, Кольский филиал Петрозаводского государственного университета, г. Апатиты Мурманской обл., 184209, Российская Федерация, shishaev@iimm.ru
- Andrey V. Masloboev** – PhD, Associate professor, senior research fellow, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, 184209, Russian Federation; Head of Chair, Kola Branch of Petrozavodsk State University, Apatity, 184209, Russian Federation, masloboev@iimm.ru
- Andrey G. Oleynik** – D.Sc., Professor, Deputy director for science, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, 184209, Russian Federation; Head of Chair, Kola Branch of Petrozavodsk State University, Apatity, 184209, Russian Federation, oleynik@iimm.ru
- Maxim G. Shishaev** – D.Sc., Professor, Laboratory head, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, 184209, Russian Federation; Deputy director, Kola Branch of Petrozavodsk State University, Apatity, 184209, Russian Federation, shishaev@iimm.ru