

УДК 330.46
ББК 65.050.03

© Скородумов П.В.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ: ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ



СКОРОДУМОВ ПАВЕЛ ВАЛЕРЬЕВИЧ

кандидат технических наук. Доцент кафедры автоматизации и вычислительной техники
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования Вологодский государственный университет
Заведующий лабораторией интеллектуальных и программно-информационных систем отдела
проблем научно-технологического развития и экономики знаний
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт социально-экономического развития территорий Российской академии наук
E-mail: spv.vsc@gmail.com

Исследование социально-экономического развития регионов тесно связано с построением моделей реально существующих систем, анализом их текущего и прогнозированием дальнейшего поведения. Одним из наиболее востребованных сегодня является метод имитационного моделирования. Он сочетает в себе особенности экспериментального подхода и специфические условия использования вычислительной техники. Компьютерное моделирование позволяет сделать процесс более наглядным и понятным для рядового исследователя.

В статье рассматриваются подходы системной динамики, дискретно-событийного и агентного моделирования. Представлены преимущества метода имитационного моделирования и этапы построения моделей на его основе. Приведен краткий обзор и анализ систем имитационного моделирования ARIS, Arena, Anylogic, iThink. Результаты анализа обобщены в итоговой таблице. Представлены возможные направления совершенствования систем имитационного моделирования.

В заключение отмечается невозможность исследования экономических систем без построения моделей протекающих в них процессов. Развитие информационных технологий выводит процессы изучения систем на новый уровень. Метод имитационного моделирования является актуальным и востребованным на сегодняшний день, а значит, будет продолжаться развитие и совершенствование систем имитационного моделирования.

Моделирование, имитационное моделирование, системная динамика, дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование, системы имитационного моделирования.

Сегодня проводится большое количество научных исследований, связанных с изучением социально-экономического развития регионов. Данное направление непосредственно связано с исследованием региона как сложной социально-экономической системы. Такие системы обладают одновременно структурной и поведенческой сложностью, объединяют в себе непрерывные, дискретные, вероятностные процессы, могут содержать обучаемые компоненты.

Исследование окружающих нас экономических систем как единого целого, объединяющего компоненты различной природы, использование для этого современных подходов и средств автоматизации является особенно актуальным и важным вопросом.

Одним из самых эффективных методов исследования сложных систем, в том числе экономических, считается имитационное моделирование (ИМ) [6].

«Имитация» означает воспроизведение определенным образом явлений, событий, действий, объектов и т. п. [6]. Этот термин является синонимом понятия «модель» – абстрактное описание системы (объекта, процесса, проблемы, понятия) в некоторой форме, отличной от формы ее реального существования [4].

Моделирование в общем виде представляет собой один из основных методов познания, является формой отражения действительности и заключается в выяснении или воспроизведении тех или иных свойств реальных объектов, процессов, явлений с помощью абстрактного описания в виде изображения, плана, карты, совокупности уравнений, алгоритмов и программ [4].

Имитационное моделирование – экспериментальный метод исследования реальной системы по ее имитационной модели, который сочетает особенности экспериментального подхода и специфические условия использования вычислительной техники [4].

Среди преимуществ ИМ отмечают [9]:

1. Отражение динамических процессов и поведенческих аспектов внешней среды.
2. Возможность выявления закономерностей, динамических тенденций развития и функционирования сложной системы в условиях неполной и неточной информации.
3. Описание взаимодействия и поведения множества активных агентов в социальных системах.
4. Реализацию принципов объектно-ориентированного проектирования и применение высокотехнологичных решений при построении компьютерных моделей и др.

Главной проблемой при построении любой имитационной модели является необходимость построения комплексных математических моделей и разработки программного кода имитационной модели. В современных системах ИМ предпринимаются попытки решить эту проблему при помощи автоматизации построения кода имитационной модели на основании различных графических схем (визуальных моделей) и с использованием методов объектно-ориентированного проектирования. Такой подход значительно облегчает задачу создания имитационной модели и делает саму модель более понятной для пользователей [11].

В ИМ выделяют следующие основные подходы: системная динамика, дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование [7]. В работах различных авторов среди подходов ИМ отмечаются также динамическое моделирование [3], объединенный подход [7], сетевые парадигмы, сети кусочно-линейных агрегатов [10] и др. В данной работе остановимся на трех основных подходах, получивших наибольшее распространение.

Как методология системная динамика была предложена в 1961 году Дж. Форрестером в качестве инструмента исследо-

вания информационных обратных связей в производственно-хозяйственной деятельности. Процессы, происходящие в реальном мире, в системной динамике представляются в терминах накопителей и потоков между ними. Системно-динамическая модель описывает поведение системы и ее структуру как множество взаимодействующих обратных связей и задержек. Математически такая модель выглядит как система дифференциальных уравнений [12]. Результатом моделирования в системной динамике является выявление глобальных зависимостей и причинно-следственных связей в исследуемой системе. К этому типу относятся системы VenSim, PowerSim, iThink и др.

Дискретно-событийное моделирование появилось в начале 1960-х годов, когда Дж. Гордон спроектировал и реализовал систему GPSS. Основной объект в этой системе – пассивный транзакт, который может определенным образом представлять собой работников, детали, сырье, документы, сигналы и т. п. Перемещаясь по модели, транзакты становятся в очереди к одноканальным и многоканальным устройствам, захватывают и освобождают их, расщепляются, уничтожаются и т. д. [12]. Отличительной особенностью данного подхода является время продвижения по модели: либо от события к событию, либо через дискретные промежутки времени. Дискретно-событийное моделирование применяется, если возможно предположить, что переменные в системе меняются мгновенно в определенные промежутки времени. Данный подход ИМ является одним из самых распространенных и применяется для исследования социально-экономических, технических, логистических и других процессов. Кроме системы GPSS, к этому подходу относятся системы Arena, Extend, SimProcess и др. Следует отметить, что на основе дискретно-событийного подхода реализовано наибольшее число систем ИМ.

Агентное моделирование появилось в 90-х годах и используется для исследования децентрализованных систем, динамика функционирования которых определяется не глобальными правилами и законами (как в других парадигмах моделирования), а когда эти глобальные правила и законы являются результатом индивидуальной активности членов группы. Цель агентных моделей – получить представление об этих глобальных правилах, общем поведении системы, исходя из предположений об индивидуальном, частном поведении ее отдельных активных объектов и взаимодействии этих объектов в системе [7].

В случае моделирования экономических систем, содержащих большие количества активных объектов (людей, машин, предприятий или даже проектов, активов, товаров и т. п.), которые объединяет наличие элементов индивидуального поведения, агентное моделирование является подходом более универсальным и мощным, так как позволяет учесть любые сложные структуры и их поведение [7].

Наиболее мощным из инструментов, поддерживающих агентное моделирование, является отечественный инструмент AnyLogic компании XJ Technologies, доказавший в последнее время свою мощь и удобство за счет применения объектно-ориентированного подхода, визуального проектирования, дружественного пользовательского графического интерфейса, платформонезависимого языка Java. Кроме того, он реализует объединенный подход за счет предоставления возможности создания гибридных моделей на основе различных подходов ИМ [7].

Разработка имитационной модели включает следующие этапы [3]:

1. Формулировка цели исследования.
2. Сбор информации и данных.
3. Разработка концептуальной модели.

4. Проверка концептуальной модели на адекватность поставленной задаче и выполнение структурного критического анализа.

5. Перевод концептуальной модели в машинное представление с помощью программных средств.

6. Верификация полученной модели.

7. Возврат к пунктам 1 – 3 (в зависимости от выявленной ошибки) в случае неадекватности полученной модели.

8. Разработка, выполнение и анализ экспериментов.

9. Документирование и предоставление полученных результатов.

Для обеспечения наибольшей адекватности модели следует привлекать к ее разработке экспертов предметной области. При этом используются два основных подхода выполнения верификации и валидации: привлечение полностью вовлеченного в группу разработчиков пользователя и независимая верификация и валидация (выполняется сторонней группой).

В процессе валидации применяются различные методы: анимация, сравнение с другими моделями, тесты на экстремальные условия и др. [3].

Практически все существующие программные средства ИМ разработаны для поддержки какого-то определенного подхода. Среди наиболее распространенных систем ИМ, обладающих развитыми графическими средствами, можно назвать ARIS, Arena, Anylogic, iThink (наиболее популярные программные продукты среди различных подходов ИМ). Рассмотрим их более подробно.

Система ИМ ARIS представляет собой комплекс средств анализа и моделирования деятельности предприятия. Ее методическую основу составляет совокупность различных методов моделирования, отражающих разные взгляды на исследуемую систему. Одна и та же модель может разрабатываться с использованием нескольких методов, что позво-

ляет использовать ARIS специалистам с различными теоретическими знаниями и настраивать его на работу с системами, имеющими свою специфику [1].

Методика моделирования ARIS основывается на теории построения интегрированных ИС (Август Шер), определяющей принципы визуального отображения всех аспектов функционирования анализируемых компаний. ARIS поддерживает четыре типа моделей, отражающих различные аспекты исследуемой системы: организационные, функциональные, информационные, а также модели управления. Для их построения используются как собственные методы моделирования ARIS, так и различные известные методы и языки моделирования, в частности, UML.

В процессе моделирования каждый аспект деятельности предприятия сначала рассматривается отдельно, а после детальной проработки всех аспектов строится интегрированная модель, отражающая все связи между различными аспектами.

ARIS не накладывает ограничений на последовательность построения моделей. Модели в ARIS представляют собой диаграммы, элементами которых являются разнообразные объекты – «функции», «события», «документы» и т. п. Между объектами устанавливаются различные по типам связи.

Каждому объекту соответствует определенный набор атрибутов, которые позволяют ввести дополнительную информацию о конкретном объекте. Значения атрибутов могут использоваться при ИМ или для проведения стоимостного анализа. В результате возникает набор взаимосвязанных моделей, представляющих собой исходный материал для дальнейшего анализа.

Основной бизнес-моделью ARIS является eEPC (extended Eventdriven Process Chain – расширенная модель цепочки процессов, управляемых событиями).

Модель eEPC расширяет возможности нотаций IDEF0, IDEF3 и DFD, обладая всеми их достоинствами и недостатками. Применение большого числа различных объектов, связанных различными типами связей, значительно увеличивает размер модели и делает ее плохо читаемой.

Бизнес-процесс в нотации eEPC представляет собой поток последовательно выполняемых работ, расположенных в порядке их выполнения. Реальная длительность выполнения процедур в eEPC визуально не отображается, для этого рекомендуется использовать другие инструменты описания (например, диаграммы Ганта в системах управления проектами).

Пакет Ithink использует подход системной динамики. Для его реализации служат конструкции четырех типов: станции, потоки, конвертеры и соединители [8]. Чтобы создавать дискретные модели, Ithink использует три специальные станции: очереди, хранилища и транспортеры, которые передают элементы между станциями.

Модели, построенные с помощью Ithink, состоят из уровней и иерархий. Пользователь строит описание модели на высоком уровне с помощью сред моделирования процессов, каждая из которых позволяет создать модель одной подсистемы. Завершив описание, разработчик переходит на следующую ступень детализации и вводит в каждую подмодель необходимые конструкции. Между подмоделями устанавливаются связи, указывающие на взаимодействие подсистем. Построив модель, снабженную необходимым числом иерархических уровней, разработчик переходит в режим моделирования, чтобы определить математические связи между станциями, потоками и другими конструкциями.

Пакет Ithink предлагает разработчику список допустимых переменных для определения математических связей,

обеспечивает проведение анализа чувствительности модели путем ее многократного запуска с различными входными параметрами. Исходными данными являются основные виды распределений, применяемые для статистического анализа или диаграммы. При запуске модели Ithink используются средства анимации, перемещающие расположенные на различных уровнях станции в соответствии с логикой модели.

Результаты моделирования выводятся в виде временных диаграмм или диаграмм разброса. Таблицы и диаграммы можно просматривать в специальных окнах пакета или в окне модели.

Пакет AnyLogic – предназначен для разработки и исследования имитационных моделей. Построен на базе новых идей в области информационных технологий, теории параллельных взаимодействующих процессов и теории гибридных систем. Благодаря этим идеям чрезвычайно упрощается построение сложных имитационных моделей, имеется возможность использования одного инструмента при изучении различных стилей моделирования [5].

Графическая среда моделирования поддерживает проектирование, разработку, документирование модели, выполнение компьютерных экспериментов, оптимизацию параметров относительно некоторого критерия. При разработке модели можно использовать элементы визуальной графики (диаграммы состояний, сигналы, события, порты и т. д.), синхронное и асинхронное планирование событий, библиотеки активных объектов.

При разработке модели в AnyLogic можно использовать концепции и средства из классических областей ИМ: динамических систем, дискретно-событийного моделирования, системной динамики, агентного моделирования. Кроме того, AnyLogic позволяет интегрировать раз-

личные подходы с целью получить более полную картину взаимодействия сложных процессов различной природы.

Пакет ИМ Arena позволяет создавать подвижные компьютерные модели, используя которые можно адекватно представить очень многие реальные системы. Arena снабжена удобным объектно-ориентированным интерфейсом и обладает возможностями по адаптации к всевозможным предметным областям [2].

Основа технологий Arena – язык моделирования SIMAN и система Cinema Animation. Процесс моделирования организован следующим образом. Сначала пользователь шаг за шагом строит в визуальном редакторе системы Arena модель. Затем система генерирует по ней соответствующий код на SIMAN, после чего автоматически запускается Cinema animation.

Интерфейс Arena включает в себя всевозможные средства для работы с данными, в том числе электронные таблицы, базы данных.

ИМ позволяет проверять гипотезы о причинах возникновения тех или иных наблюдаемых феноменов. SIMAN позволяет рассматривать процессы в различных масштабах времени, выделить переменные, наиболее важные для успешного функционирования моделируемой системы, и проанализировать имеющиеся между ними связи. Язык позволяет выявлять «узкие места» в материальных, информационных и других потоках. Моделирование дает возможность изучать объекты, о поведении которых имеется недостаточно информации.

В поставку Arena входят готовые шаблоны решений. Каждый такой шаблон представляет собой набор специализированных модулей, превращающих Arena в проблемно-ориентированную среду моделирования. Создавая такие шаблоны или изменяя существующие, можно приспособить Arena для решения кон-

кретных задач и перейти от абстрактных понятий методологии моделирования к принятым в рассматриваемой предметной области терминам.

Для сравнительного анализа рассматриваемых систем имитационного моделирования были выбраны 13 характеристик, отражающих возможности представленных продуктов по проведению исследований, построению моделей и взаимодействию с пользователем (*таблица*). Лучшая из систем определялась по наличию наиболее широкого функционала (чему соответствует максимальное число реализованных в программном продукте характеристик). Следует отметить, что перечень критериев оценки не является единственно возможным, список может меняться как в сторону уменьшения, так и в сторону расширения количества используемых характеристик. Различные исследователи при проведении анализа систем ИМ используют разные критерии оценки.

Следует отметить, что в любой системе ИМ можно найти какие-то недостатки с точки зрения применимости ее в конкретной ситуации. Кроме того, сфера информационных технологий бурно развивается, появляются новые подходы и методы решения актуальных задач, меняются механизмы взаимодействия пользователей с информационными системами. Все это приводит к необходимости постоянного совершенствования систем ИМ и применяемых в них решений.

Среди возможных направлений совершенствования систем моделирования можно отметить [4]:

1. Создание проблемно-ориентированных систем моделирования в различных областях исследований.
2. Наличие удобного и легко интерпретируемого графического интерфейса.
3. Использование развитой анимации в реальном времени.

Таблица. Сравнительный анализ систем имитационного моделирования

| Характеристика | ARIS | iThink | AnyLogic | Arena |
|---|-----------------------|--------------------|--|------------------------------------|
| Разработчик | IDS Scheer | Isee systems | XJ Technologies | Rockwell Software |
| Парадигмы имитационного моделирования | Сетевое моделирование | Системная динамика | Возможно построение моделей на основе различных подходов | Дискретно-событийное моделирование |
| Построение модели | Графическое | Графическое | Графическое, программное | Графическое, программное |
| Отладка | + | + | + | + |
| Анимация | + | + | + | + |
| Экспорт и импорт данных | + | + | + | + |
| Web-интерфейс | + | - | - | - |
| Интерфейс пользователя модели | - | - | + | - |
| Наглядность моделей | + | + | + | + |
| Расширенные возможности проведения эксперимента | + | + | + | + |
| Иерархия | + | + | + | + |
| Специализированный язык | UML | - | Java | SIMAN |
| Построение диаграмм | + | + | + | + |
| Создание отчетов | + | + | + | + |

4. Совершенствование инструментов для проведения расчетов.

5. Применение интерактивного распределенного моделирования, разработки в области взаимодействия ИМ с интернет и др.

Построение проблемно-ориентированных систем ИМ остается актуальным направлением на сегодняшний день. Существуют системы моделирования производственных систем различного назначения, медицинского обслуживания, в области телекоммуникаций и др. Такие системы включают абстрактные элементы, языковые конструкции и наборы понятий, взятые непосредственно из предметной области исследований. Это влияет на доступность и привлекательность ИМ, позволяет реализовывать различные модели исследователям, не имеющим опыта работы с программными средствами имитационного моделирования (все используемые для построения компоненты и механизмы их функционирования уже известны пользователям и соответствуют реально существующим).

Наличие в современных системах моделирования удобного, легко интерпретируемого графического интерфейса, системных потоковых диаграмм, блок-схем, реализованных на идеографиче-

ском уровне, повышают наглядность построенных с их помощью моделей. Графический подход к построению моделей является одним из наиболее популярных и удобных на сегодняшний день.

Еще одним направлением совершенствования систем ИМ в области применения графики является использование развитых средств анимации, зачастую весьма сложных, с использованием стандартов в области виртуальной реальности.

Современные методологии научного исследования в компьютерном моделировании требуют серьезной математической и информационной поддержки, особенно в части вычислительных процедур, связанных с планированием эксперимента, оптимизацией, а также организации работы с большим объемом данных в процедурах принятия решений. Перспективны применение ИМ в сочетании с другими методами принятия решений, интеллектуальными технологиями, экспертными процедурами и реализация имитационно-оптимизационных вычислительных процедур на основе компенсационных подходов.

Актуальным является вопрос интеграции систем ИМ с другими программными пакетами (позволяет осуществлять до-

ступ к процедурным языкам, связанным с кодом имитационной модели) для реализации специальных вычислений.

Применение многопользовательского режима, интерактивного распределенного моделирования, разработки в области взаимодействия ИМ с интернет расширяют возможности и сферу применения ИМ, позволяя обрабатывать совместные или конкурирующие стратегии различным компаниям.

В заключение необходимо отметить, что для построения имитационных моделей систем в зависимости от необходимого уровня абстракции применяют различные парадигмы ИМ. Независимо от выбора подхода для построения моделей особое внимание следует уделять формулировке целей моделирования, сбору исходной информации и первоначальных данных, определению исследуемой области системы и требуемого уровня ее детализации, документированию всего процесса моделирования, определению формата предоставляемых результатов.

В целом, если анализировать таблицу, можно говорить о том, что рассматриваемые пакеты ИМ предоставляют пользователям широкие возможности по построению моделей разного уровня сложности, формированию необходимых отчетов в требуемой форме, а также обладают возможностями настройки и расширения имеющихся стандартных библиотек.

На фоне остальных пакетов выделяется система AnyLogic, позволяющая использовать различные парадигмы ИМ в одном программном продукте, что расширяет возможности по проведению

исследований в различных областях. Подтверждением популярности данного продукта являются многочисленные коммерческие и научные исследования, большое число публикаций и выступлений на различных конференциях по ИМ, в основе которых лежит решение от компании XJ Technologies.

Из представленных в обзоре систем необходимо отметить также пакет ARIS, единственный имеющий веб-ориентированную версию. Кроме того, разработчики предоставляют собственный облачный сервис для использования системы.

Облачные вычисления и веб-ориентированные приложения являются особенно популярными и актуальными в последнее время и необоснованно игнорируются большинством разработчиков систем ИМ. Считаю, что именно в этом направлении в дальнейшем будет развиваться большинство программных продуктов, в том числе связанных с ИМ.

Современные исследования экономических систем, в том числе систем социально-экономического развития регионов, невозможно представить без построения моделей протекающих в них процессов. Развитие информационных технологий и техники вывело процессы изучения этих систем на новый качественный уровень. В значительной части проводимых исследований применяются подходы и программные пакеты имитационного моделирования. Это позволяет говорить о том, что данный подход является актуальным и востребованным, а значит, совершенствование систем имитационного моделирования будет продолжаться.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вендров, А. М. Методы и средства моделирования бизнес-процессов (обзор) [Текст] / А. М. Вендров // Информационный бюллетень. – 2004. – № 10 (137). – 32 с.
2. Габрин, К. Э. Основы имитационного моделирования в экономике и управлении [Текст] / К. Э. Габрин, Е. А. Козлова. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 108 с.
3. Журавлев, С. С. Краткий обзор методов и средств имитационного моделирования производственных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://goo.gl/D75coh>
4. Ильин, А. А. Имитационное моделирование экономических процессов [Текст] / А. А. Ильин. – Тула, 2007. – 121 с.
5. Киселева, М. В. Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic [Текст] / М. В. Киселева. – Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2009. – 88 с.
6. Кобелев, Н. Б. Основы имитационного моделирования сложных экономических систем [Текст] / Н. Б. Кобелев. – М. : Дело, 2003. – 336 с.
7. Коровин, А. М. Анализ подходов и программного обеспечения для имитационного моделирования социальных и экономических систем [Текст] / А. М. Коровин // Вестник ЮУрГУ. – 2012. – № 35. – С. 98–100.
8. Кузнецов, Ю. А. Применение пакетов имитационного моделирования для анализа математических моделей экономических систем [Текст] / Ю. А. Кузнецов, В. И. Перова. – Н. Новгород : ННГУ, 2007. – 99 с.
9. Лычкина, Н. Н. Динамическое имитационное моделирование развития социально-экономических систем и его применение в информационно-аналитических решениях для стратегического управления [Электронный ресурс] / Н. Н. Лычкина. – Режим доступа : <http://goo.gl/7KQcWi>
10. Лычкина, Н. Н. Современные технологии имитационного моделирования и их применение в информационных бизнес-системах [Электронный ресурс] / Н. Н. Лычкина. – Режим доступа : <http://goo.gl/Z7SVGD>
11. Рванцов, Ю. А. Сравнительный анализ систем имитационного моделирования деловых процессов по критерию функциональной полноты [Текст] / Ю. А. Рванцов // Вестник ДГТУ. – 2011. – Т. 11. – № 1 (52). – С. 69–73.
12. Чернышова, Н. Н. Имитационное моделирование бизнес-процессов [Текст] : учеб.-метод. пособие / Н. Н. Чернышова. – Н. Новгород : НГУ им. Лобачевского, 2010. – 28 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Скородумов Павел Валерьевич – кандидат технических наук. Доцент кафедры автоматики и вычислительной техники. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Вологодский государственный университет. Россия, 160035, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15. Заведующий лабораторией интеллектуальных и программно-информационных систем отдела проблем научно-технологического развития и экономики знаний. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт социально-экономического развития территорий Российской академии наук. Россия, 160014, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а. E-mail: spv.vsc@gmail.com. Тел.: (8172) 59-78-10.

Skorodumov P.V.

SIMULATION MODELLING OF ECONOMIC SYSTEMS: SOFTWARE TOOLS AND AREAS OF IMPROVEMENT

The research into the socio-economic development of regions is closely connected with the construction of models of real systems, analysis of their current behavior and forecasting of their future behavior. At present, the method of simulation is one of the most in-demand. It combines the features of the experimental approach and the specific conditions of the use of computing technology. Computer simulation makes the process more transparent and understandable for an average researcher.

This article considers the approaches of system dynamics, discrete-event simulation and agent-based modeling. The author presents the advantages of simulation modelling and the stages of building models on its basis. The article provides a brief overview and analysis of simulation modelling systems ARIS, Arena, Anylogic, and iThink. The results of the analysis are summarized in the table. Besides, the article presents possible ways to improve simulation modelling systems. In conclusion, the author points out that the research into economic systems is impossible without building the models of the processes going on in them. The development of information technology brings the study of systems to a new level. Currently, the method of simulation modelling is relevant and in demand, and hence, the development and improvement of simulation modelling systems will continue and improve.

Modeling, simulation modeling, system dynamics, discrete-event simulation, agent-based modeling, simulation modeling systems.

REFERENCES

1. Vendrov A. M. Metody i sredstva modelirovaniya biznes-protsessov (obzor) [Methods and Tools for Modeling Business Processes (an Overview)]. *Informatsionnyi byulleten'* [Information Bulletin], 2004, no. 10 (137), 32 p.
2. Gabrin K. E., Kozlova E. A. *Osnovy imitatsionnogo modelirovaniya v ekonomike i upravlenii* [Fundamentals of Simulation Modeling in Economics and Management]. Chelyabinsk: Izd-vo YuUrGU, 2004. 108 p.
3. Zhuravlev S. S. *Kratkii obzor metodov i sredstv imitatsionnogo modelirovaniya proizvodstvennykh sistem* [Brief Overview of Methods and Tools for Simulation Modeling of Production Systems]. Available at: <http://goo.gl/D75coh>
4. Ilyin A. A. *Imitatsionnoe modelirovanie ekonomicheskikh protsessov* [Simulation Modeling of Economic Processes]. Tula, 2007. 121 p.
5. Kiseleva M. V. *Imitatsionnoe modelirovanie sistem v srede AnyLogic* [Simulation Modelling of Systems in AnyLogic]. Yekaterinburg: UGTU-UIP, 2009. 88 p.
6. Kobelev N. B. *Osnovy imitatsionnogo modelirovaniya slozhnykh ekonomicheskikh sistem* [Fundamentals of Simulation Modeling of Complex Economic Systems]. Moscow: Delo, 2003. 336 p.
7. Korovin A. M. Analiz podkhodov i programmno obespecheniya dlya imitatsionnogo modelirovaniya sotsial'nykh i ekonomicheskikh sistem [Analysis of Approaches to and Software for Simulation Modelling of Social and Economic Systems]. *Vestnik YuUrGU* [Bulletin of the South Ural State University], 2012, no. 35, pp. 98–100.
8. Kuznetsov Yu. A., Perova V. I. *Primenenie paketov imitatsionnogo modelirovaniya dlya analiza matematicheskikh modelei ekonomicheskikh sistem* [The Use of Simulation Modelling Packages for the Analysis of Mathematical Models of Economic Systems]. Nizhny Novgorod: NNGU, 2007. 99 p.
9. Lychkina N. N. *Dinamicheskoe imitatsionnoe modelirovanie razvitiya sotsial'no-ekonomicheskikh sistem i ego primenenie v informatsionno-analiticheskikh resheniyakh dlya strategicheskogo upravleniya* [Dynamic Simulation Modelling of Development of Socio-Economic Systems and its Application in Information-Analytical Solutions for Strategic Management]. Available at: <http://goo.gl/7KQcWi>
10. Lychkina N. N. *Sovremennye tekhnologii imitatsionnogo modelirovaniya i ikh primenenie v informatsionnykh biznes-sistemakh* [Modern Simulation Modelling Technologies and Their Application in Informational Business-Systems]. Available at: <http://goo.gl/Z7SVGD>
11. Rvantsov Yu. A. Sravnitel'nyi analiz sistem imitatsionnogo modelirovaniya delovykh protsessov po kriteriyu funktsional'noi polnoty [Comparative Analysis of Systems for Simulation Modeling of Business Processes according to the Criterion of Functional Completeness]. *Vestnik DGTU* [Bulletin of the Don State Technical University], 2011, vol. 11, no. 1 (52), pp. 69–73.
12. Chernyshova N. N. *Imitatsionnoe modelirovanie biznes-protsessov: ucheb.-metod. posobie* [Simulation Modeling of Business Processes: Study Guide]. Nizhny Novgorod: NGU im. Lobachevskogo, 2010. 28 p.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Pavel Valeryevich Skorodumov – Ph.D. in Engineering. Associate Professor at the Department of Computer Science and Automation, Federal State-Financed Educational Institution of Higher Professional Education the Vologda State University. 15, Lenin Street, Vologda,

160035, Russia. Head of the Laboratory for Intelligent and Software-Information Systems at the Department of the Issues of Scientific and Technological Development and Knowledge Economy. Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Socio-Economic Development of Territories of Russian Academy of Science. 56A, Gorky Street, Vologda, 160014, Russia. E-mail: spv.vsc@gmail.com. Phone: +7(8172) 59-78-10.