

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А. А. Емельянов, Е. А. Власова (Москва)

В настоящее время усилия многих ученых направлены на наращивание возможностей имитационного моделирования. Симуляция динамики в предметных областях претерпевает серьезные изменения в направлении познания неизвестных свойств систем, явлений или сложных процессов, как известными методами, так и заранее не известными, запланированно или внезапно появляющимися уже в процессе конкретного познания (англ. *intelligency*).

Необходимость расширения парадигмы моделирования дискретных процессов. Для моделирования дискретных и дискретно-непрерывных процессов существуют различные системы. Независимо от особенностей их реализации и предоставляемых возможностей в основе управления моделями в виртуальном времени лежат принципы, использующие транзакты, события и их взаимосвязи¹. Соответственно, эти принципы являются определяющими в используемых парадигмах моделирования (далее назовем их *общецелевыми*). Однако при моделировании экономических процессов, если модель имеет дело с финансовой динамикой, эти парадигмы неприменимы. В сравнении с *общецелевой парадигмой* (например, GPSS), *парадигма моделирования экономических процессов* должна удовлетворять четырем (как минимум) дополнительным взаимосвязанным требованиям.

Требование 1. Необходим формальный аппарат реализации финансовой динамики. Моделирование перечисления денежной суммы или какой-то стоимости с одного счета на другой требует конкретного действия в модели: ввода транзакта в какой-то блок или выполнения конкретного события в момент t_1 виртуального времени. Однако это действие не обязательно вызовет проводку этой суммы, хотя бы потому, что остаток средств на счете меньше требуемой суммы (в данном случае существует возможность придумать довольно сложный аппарат синхронизации) или, еще хуже, отрицательное сальдо существенно больше положительного (а в этом случае ситуация становится неразрешимой). Реально проводка может быть выполнена в момент $t_2 \geq t_1$. При этом в случае неравенства аппарат управления текущими, будущими и отложенными событиями не поможет определить t_2 .

Требование 2. Необходима возможность трансформации состава и структуры модели. Экономические процессы в динамике меняют не только свои параметры, но и структуру, вплоть до изменения организационной структуры (разделение, объединение, создание холдинга и др.) потоков управления и механизмов привлечения и распределения ресурсов. Это явление называется реинжинирингом. Соответственно, модель должна иметь возможность в процессе моделирования изменять свою структуру, функции и количество блоков. Поэтому структурный анализ модели должен существенным образом отличаться от классических графов с неизменной структурой, например от блок-схемы GPSS-модели.

Требование 3. Модели должны предугадывать риски². Риск, в соответствии с математической интерпретацией общего определения, – это нежелательное событие, имеющее два взаимно независимых параметра:

- 1) вероятность его появления на заданном интервале времени;
- 2) наносимый ущерб – в случае свершения этого события.

¹ Эти термины характерны для GPSS. В других системах терминология может отличаться (прим. авт.).

² Общее определение категории риска: «Возможность потерь в расчете на счастливый случай» [11].

В настоящее время в экономике существуют и постоянно совершенствуются методы управления рисками [2, 10], эффективность которых должна проверяться на имитационных моделях, а не сразу на практике.

Требование 4. Необходим аппарат пространственной динамики. Задачи макроэкономики, некоторые микроэкономические задачи, а также демографические и региональные задачи решаются с учетом взаимного географического расположения моделируемых процессов – с привязкой к географическим координатам (и картам), а иногда и с учетом того, что Земля круглая [4, 5, 7].

Создание моделирующей системы Pilgrim³ [2, 4] стало следствием развития парадигмы моделирования.

Актеры и теория акторных сетей (англ. actor networks theory – ANT) нашли применение в абстрактном моделировании социальных, экономико-конкурентных, политических и правовых процессов, в тех областях, где есть определенные трудности с применением формализованных моделей [1, 5, 10]. Появилась новая разновидность акторов – агентные программы, используемые для управления вычислительным процессом, процессами в коммуникационных и потребительских узлах Интернета, в социальных сетях. В системе имитационного моделирования Any Logic [8] осуществлено оригинальное полезное решение – агентная модель.

Основной динамической единицей в Pilgrim-моделях является **актор**. В соответствии с концепциями ANT любой узел Pilgrim-модели «с точки зрения компьютера» – это автономный вычислительный процесс, выполняемый особой программой, реализующей функции узла. Узлы объединяются в направленный граф. Каждый граф модели располагается на своем отдельном модельном слое (рис. 1).

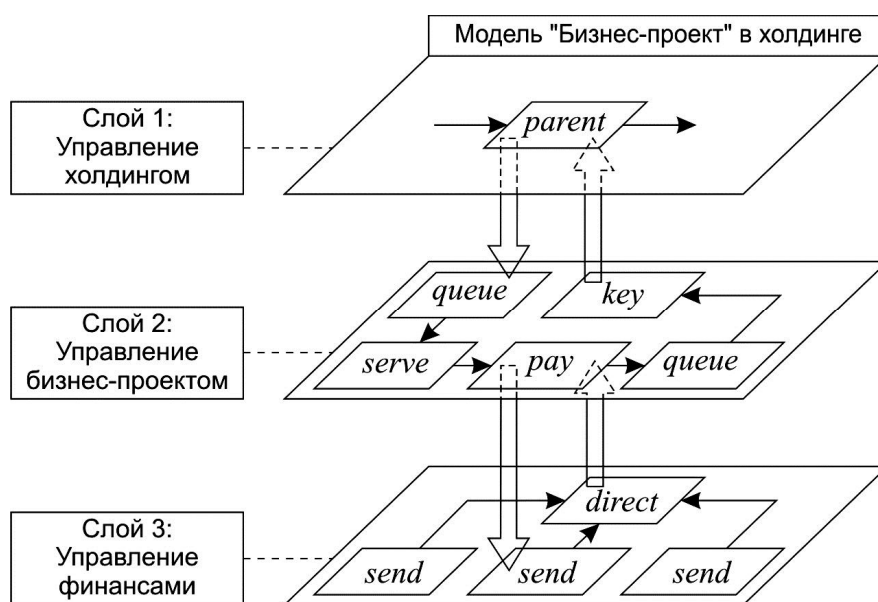


Рис. 1. Динамический граф модели экономического процесса

Актер во время моделирования внедряется в узлы, становясь участником вычислительного процесса. Поскольку актер является одновременно агентной программой, он имеет уникальную способность выполнять особенные функции преобразования модели при её выполнении (которые в любой другой системе недопустимы):

³ В экономических вузах с 2002 до 2008 года использовалась версия Pilgrim-5. В настоящее время распространяется новая версия системы Actor Pilgrim [3, 5, 6] (прим. авт.).

- 1) изменение функций или возможностей узла модели, например:
 - в модели предприятия сферы услуг уменьшить или увеличить число каналов параллельного обслуживания;
 - при моделировании бухгалтерской системы обычное обслуживание клиентов внезапно наделять функциями бухгалтерских проводок, а узел обслуживания при этом превратить в финансового менеджера (и через некоторое время всё в модели восстановить, моделируя, например, финансовое преступление);
- 2) преобразование топологии (структуры) графа модели, т.е. изменение состава узлов и направлений путей продвижения акторов;
- 3) увеличение или уменьшение количества модельных слоёв;
- 4) изменение принадлежности узла модельному слою (перемещение узлов по слоям);
- 5) преобразование свойств актора, т.е. конкретный актор может менять и свои собственные функции, подключая к себе другие программы или трансформируясь «до неузнаваемости».

Модели-трансформеры экономических процессов. Имитационная модель называется моделью-трансформером, если она обладает свойствами целенаправленных глобальных изменений собственной структуры и состава выполняемых функций, которые осознанно заложены её разработчиком, т.е. самоадаптации, «интеллигентности» и интеллектуальности (intelligency – это более ёмкое понятие, чем так называемый «искусственный интеллект»).

Разработка моделей-трансформеров связана с определенными сложностями, вызванными тем, что тестирование таких моделей требует высокой квалификации разработчика и специальных информационных технологий, способных при создании таких моделей отличить трансформацию, предусмотренную разработчиком модели, от ошибки. Потому технология создания моделей в системе Actor Pilgrim автоматизирована.

В настоящее время существует несколько актуальных направлений применения таких моделей в экономике [5, 9].

1. Главное направление – симуляция процессов реинжиниринга в бизнесе [4, 5], где предприятия меняют структуру, функции, могут войти в состав холдинга или консорциума либо выйти из состава экономического формирования. Соответственно меняются экономические процессы на трансформируемом предприятии, его связи с внешним миром, а иногда и ситуация на рынке.

Такие мероприятия могут проводиться по разным причинам, в том числе в связи с необходимостью:

- повышения конкурентоспособности и выполнения конкурентных действий [9, 10];
- управления рисками [2] – планирования антикризисных действий для предотвращения нежелательных (или опасных) событий и снижения вероятного ущерба.

Эффект таких мероприятий и действий оценивается с помощью моделей.

2. В деятельности сложных экономических структур возможно возникновение ситуаций, приводящих к нарушениям корректного функционирования этих структур (в том числе к правонарушениям). Их проявление может быть настолько скрытым, что нарушение может обнаружиться через несколько лет или остаться незамеченным. Модели-трансформеры могут «проиграть» возможные ситуации, выявить те из них, в результате которых возникают нарушения, выполнить анализ эффективности защиты и возможных последствий.

3. Технически осуществимо создание моделей процессов трансформации территориально-государственных образований с целью обоснования целесообразности принятия политических решений или проведения межгосударственных мероприятий. Такие модели довольно сложны, так как должны учитывать самые различные факторы и позволять анализировать возникающие в результате трансформации социально-экономические процессы и противодействия. Это тоже модели реинжиниринга, но на уровне государства и межгосударственных отношений.

Основные объекты модели. Концепция моделирующей системы Actor Pilgrim базируется на использовании шести типов объектов.

1. *Граф модели.* Все процессы, независимо от количества уровней структурного анализа, объединяются в виде направленного графа.

2. *Актор* является динамической единицей любой модели, работающей под управлением имитатора.

3. *Узел* графа представляет собой центр обработки акторов (но не обязательно массового обслуживания). В узлах акторы могут задерживаться, обслуживаться, порождать семейства новых акторов, уничтожать другие акторы. С точки зрения вычислительных процессов в каждом узле порождается независимый процесс. Вычислительные процессы выполняются параллельно и координируют друг друга. Они реализуются в едином модельном времени, в одном пространстве, учитывают временную, пространственную и финансовую динамику.

4. *Событие* – это факт выхода из узла одного актора.

5. *Ресурс* независимо от его природы (материальный, информационный и денежный) характеризуются тремя общими параметрами: мощностью, остатком (положительным сальдо) и дефицитом (отрицательным сальдо).

6. *Пространство* – географическое, декартова плоскость (можно ввести и другие). Узлы и акторы могут быть привязаны к точкам пространства и мигрировать в нем, иногда – вместе с ресурсами. Моделирование экономических процессов с учетом регионалистики должно учитывать пространственные распределения жителей, ресурсов, наличие транспортных связей и географические особенности [7].

В различных моделирующих системах имеются разные способы представления узлов графа. Это связано с отличительными свойствами таких систем. Например, в системе GPSS узлы называются блоками, причем количество различных типов блоков 53, что затрудняет восприятие графа модели.

Типы узлов. В системе Pilgrim имеется всего 17 типов узлов⁴:

- 1) actor – генератор акторов с бесконечной емкостью;
- 2) attach – склад перемещаемых ресурсов;
- 3) create – генератор семейств акторов;
- 4) destroy – терминатор семейств акторов;
- 5) direct – распорядитель финансов (или «главный бухгалтер»);
- 6) down – произвольный структурный узел;
- 7) dynamo – очередь с пространственно-зависимыми приоритетами;
- 8) key – клапан, перекрывающий путь акторам;
- 9) manage – менеджер-распорядитель ресурсов;
- 10) parent – виртуальный структурный узел;
- 11) pay – структурный узел финансово-хозяйственных платежей;
- 12) produce – управляемый процесс (непрерывный или пространственный);
- 13) queue – очередь с относительными приоритетами или без приоритетов;

⁴ Тем не менее эти узлы в совокупности функционально перекрывают возможности 53 блоков GPSS и предоставляют дополнительные средства (прим. авт.).

- 14) rent – структурный узел выделения ресурсов;
- 15) send – счет бухгалтерского учета (операция типа «проводка»);
- 16) serve – узел массового обслуживания с произвольным числом каналов;
- 17) term – терминатор, устраняющий лишние акторы из модели.

Чтобы довести модель до практического использования, в ней должен быть предусмотрен механизм планирования эксперимента, направленный на отыскание экстремальных точек на поверхности отклика, точки которой получаются в процессе моделирования. Поверхность отклика не может быть описана математическими выражениями, т.е. заранее не известна (это одна из особенностей моделей экономических процессов). В Astor Pilgrim имеется инструмент, позволяющий проводить оценку результатов на достоверность. Он основан на генерации ортогональных планов эксперимента.

Пример экономического процесса. Особенности парадигмы моделирования экономических процессов можно показать на очень простом примере. Рассмотрим бизнес-процесс, реализуемый в небольшой компании. Это предприятие занимается выпуском товара партиями. Имеется рынок, где эта продукция продается. Основные проектные параметры модели бизнес-процесса:

- 1) цены за единицы продукции;
- 2) эластичность спроса (параметры рынка);
- 3) основной период выпуска партии продукции;
- 4) суммы банковских кредитов;
- 5) суммы платы поставщикам за материалы и комплектующие;
- 6) производственные мощности фирмы (производственных линий);
- 7) объемы партий покупаемой продукции;
- 8) варианты управления (с адаптацией, без адаптации);
- 9) банковская ставка (проценты);

Процессы производства в виде модельного слоя показаны на рис. 2

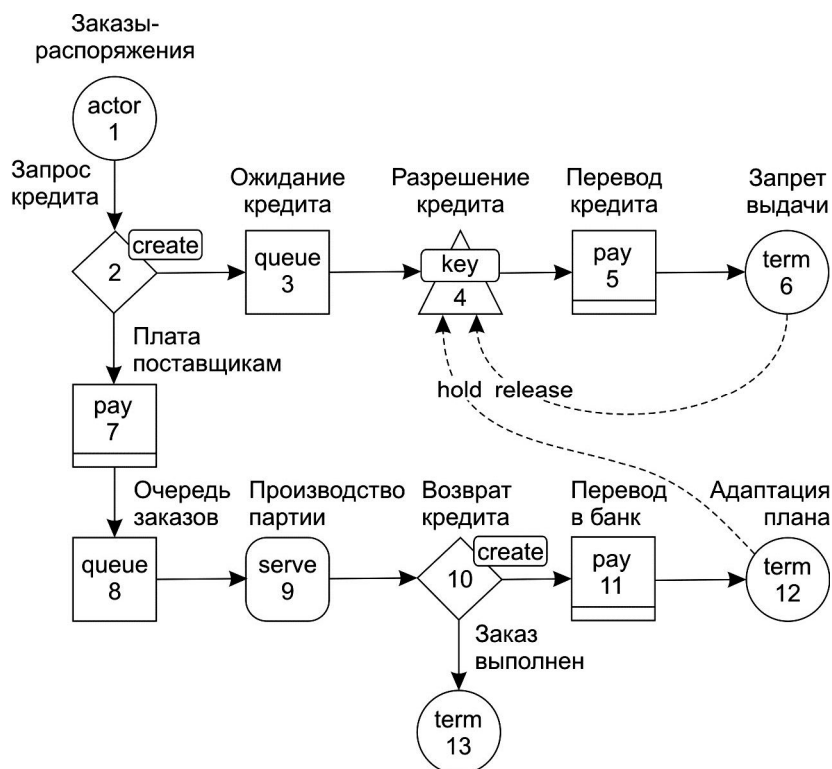


Рис. 2. Моделирование процессов производства

Производство финансируется за счет собственных средств и привлекаемых средств (кредитов). Причем банк откажет в кредитовании, если предприятие не рассчиталось по ранее полученному кредиту. Собственные средства получаются из выручки, получаемой от продажи продукции.

Процессы реализации продукции в виде другого модельного слоя показаны на рис. 3. Поток покупателей и суммарная выручка зависят от цен, устанавливаемых на продукцию. Здесь возможна оптимизация.



Рис. 3. Моделирование процессов сбыта

Процессы производства и сбыта не имеют явных связей, но взаимное влияние их очень сильно. Для моделирования этого влияния предназначен третий слой модели (рис. 4), где в упрощенном виде моделируются финансовые (денежные, стоимостные) процессы в рассматриваемой компании. Пути проводок показаны штрих-пунктирными линиями.

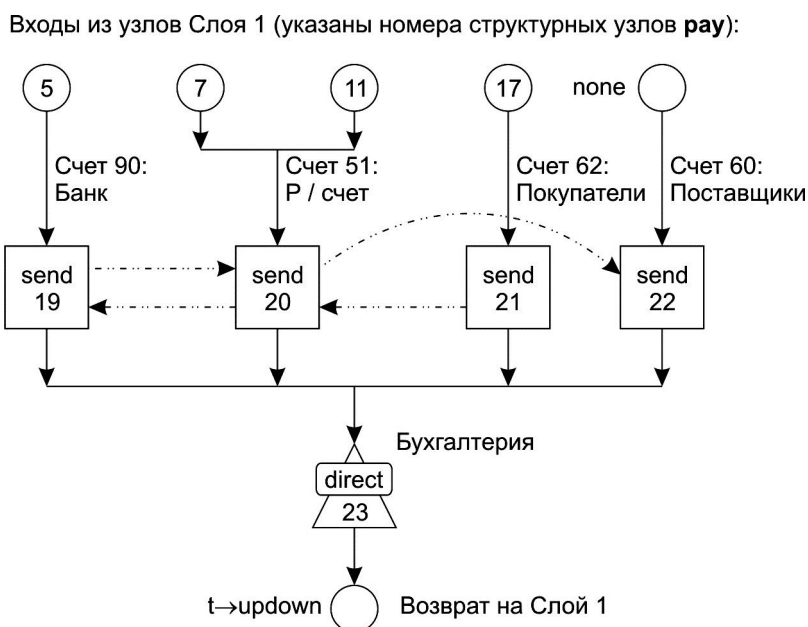


Рис. 4. Реализация финансовой динамики

Модель позволяет выбирать правильную рыночную стратегию, избегать явлений «затаривания» готовой продукции на складе, рационально планировать загрузку персонала фирмы. Из неё можно получить, например, такой результат: финансовые процессы влияют на общую производительность предприятия значительно сильнее, чем производственные процессы, являющиеся процессами массового обслуживания. Кроме того, модель наглядно показывает рискованные ситуации, возникающие при ошибках как в бизнес-плане, так и в оперативно принимаемых решениях.

Необходимо сделать следующее замечание: на GPSS или с помощью некоторых других пакетов эту модель, несмотря на ее кажущуюся простоту, реализовать невозможно по следующим причинам.

1. Не выполнено требование 1. Пути финансов (денег, стоимостей) никогда не совпадают с реальными путями акторов, заявок, транзактов, требований, информационных и других потоков.

2. Логика синхронизации бухгалтерских проводок ничего общего не имеет с логикой работы систем массового обслуживания.

Автоматизация составления моделей. Конструктор моделей Actor Pilgrim GEM-2009 (далее – конструктор) позволяет автоматизировать процесс создания графа модели и автоматически генерировать код Pilgrim-программы. Тем самым снимаются отмеченные выше проблемы, возникающие при ручном кодировании модели в виде Pilgrim-файла:

- автоматическая генерация программного кода позволяет пользователю не задумываться о структуре и синтаксисе программы, уделяя все внимание структуре и параметрам самой модели и ее узлов;
- генерация функций описания узлов конструктором исключает ошибки, связанные с неправильной последовательностью указания позиционных параметров или пропуском некоторых из них.

С помощью конструктора удобно строить многоуровневые модели, организуя иерархию слоёв и плоскостей. Главное окно конструктора показано на рис. 5.

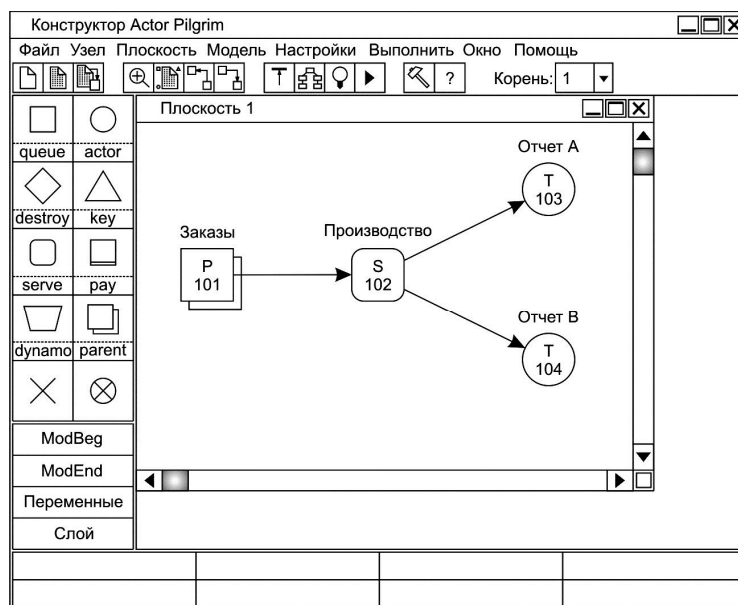


Рис. 5. Главное окно конструктора моделей

Система Actor Pilgrim позволяет передавать результаты моделирования, используемые для принятия управленческих решений, из модели в базы данных экономической информационной системы (например, через интерфейс ODBC – Open Data Base Connectivity, если моделирование проводится в среде Windows), либо «подкачивать» актуализируемые во времени параметры в модель из баз данных.

Некоторые результаты. Ниже следует перечень практических разработок, выполненных с использованием акторного имитационного моделирования.

1. Модель управления клиринговыми процессами в кредитных организациях.
2. Модель управления портфелями ипотечных кредитов в условиях внезапных изменений кредитной политики.
3. Управление размещением предприятий сферы услуг на основе моделирования региональных факторов [7].

4. Модель управления процессами рефинансирования нефтяной подотрасли.
 5. Модель оперативного управления временными экономическими образованиями (на примере временных образований, создаваемых при возникновении ЧС).
 6. Имитационное моделирование наступательных конкурентных действий [10].
- В действительности за последние восемь лет таких разработок выполнено значительно больше.

Выводы

1. Развитие методологии имитационного моделирования в направлении *intelligency* создает дополнительные области применения методов имитационного моделирования в социально-экономических и гуманитарных областях, где часто бывает трудно формализовать логику протекающих процессов или возникающих явлений. Парадигма имитационного моделирования экономических процессов имеет свои уникальные особенности и отличительные черты, плохо реализуемые в общецелевых моделирующих системах.

2. Необходимо в вузах вводить в учебные планы подготовки экономистов-математиков, информатиков-экономистов, бакалавров и магистров соответствующие учебные дисциплины. В настоящее время «Имитационное моделирование экономических процессов» является обязательной компонентой профессиональных образовательных программ «Прикладная информатика в экономике» (квалификация «информатик-экономист») и «Бизнес-информатика» (бакалавриат и магистратура). Эти образовательные программы реализуют более 300 вузов. Однако в проектах государственных образовательных стандартов нового поколения (так называемые ФГОС) эти дисциплины изъяты.

Литература

1. Анфилатов В. С., Емельянов А. А., Кукушкин А. А. Системный анализ в управлении / Под ред. А. А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2006. 368 с.
2. Емельянов А. А. Имитационное моделирование в управлении рисками. СПб.: Инжэкон, 2000. 376 с.
3. Емельянов А. А. Симуляторы GPSS World и Actor Pilgrim: экономика и массовое обслуживание // Прикладная информатика. 2007. № 3 (9). Стр. 73–103.
4. Емельянов А. А., Власова Е. А., Дума Р. В. Имитационное моделирование экономических процессов / Под ред. А. А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2009. 416 с.
5. Емельянов А. А., Власова Е. А., Дума Р. В., Емельянова Н. З. Компьютерная имитация экономических процессов / Под ред. А. А. Емельянова. М.: Маркет ДС, 2009. 464 с.
6. Емельянов А. А., Власова Е. А., Прокимнов Н. Н. Современное интеллигентное моделирование: модели-трансформеры экономических процессов // Современные проблемы прикладной информатики. –СПб.: Инжэкон, 2008. Стр. 42–50.
7. Емельянов А. А., Новикова Н. Г., Емельянова Н. З. Управление размещением предприятий сферы услуг на основе моделирования региональных факторов. М.: МАКС Пресс, 2004. 110 с.
8. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с Any Logic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 400 с.
9. Рубин Ю. Б. Конкуренция: упорядоченное взаимодействие в профессиональном бизнесе / Второе издание. М.: Маркет ДС, 2006. 368 с.
10. Рубин Ю. Б. Постановка задач имитационного тактического моделирования наступательных конкурентных действий // Прикладная информатика. 2006. № 3. Стр. 84–112.
11. *Encyclopaedia Britannica*. UK: London, 1974, 15 issue, 30 volumes (Британская энциклопедия, 15-е издание в 30 томах).