

Рис. 2. Окно разработанных условных знаков

Fig. 2. Designed symbols window

– достоверность информации о свойствах объектов поражения;

– эксплуатационные затраты.

Таким образом, создание своего классификатора Rigel позволило создать все необходимые условные обозначения для решения поставленной задачи, обеспечить корректное отображение тактических знаков на карте по масштабу и возможность поворота знаков в нужном направлении, а также упростить алгоритм работы программного комплекса в целом.

#### Литература

1. Калиниченко С.В., Хомоненко А.Д. Подход к поиску и устранению дублированной противоречивой информации при интеграции данных в распределенных автоматизированных системах критического назначения // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2012. № 4. С. 47–60.
2. Войцеховский С.В., Хомоненко А.Д. Выявление вредоносных программных воздействий на основе нечеткого вывода // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2011. № 3. С. 81–91.
3. Лохвицкий В.А., Калиниченко С.В., Нечай А.А. Подход к построению системы автоматизированной интеграции информации в базу данных для ее своевременной актуализации // Мир современной науки. 2014. № 2. С. 8–12.
4. Тырва А.В., Хомоненко А.Д. Метод планирования тестирования сложных программных комплексов на этапах проектирования и разработки // Науч.-технич. ведомости СПб гос.

политехнич. ун-та. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2009. Т. 4. № 82. С. 125–131.

5. Нечай А.А., Матвеев С.В., Сафонов В.М. Выбор и обоснование показателей эффективности решения задачи распределения объектов по средствам поражения // Мир современной науки. 2014. № 2. С. 13–16.

#### References

1. Kalinichenko S.V., Khomonenko A.D. An approach to search and elimination of duplicated inconsistent information when integrating data in distributed critical appointment automated systems. *Problemy informatsionnoy bezopasnosti. Kompyuternye sistemy* [Information security problems. Computer systems]. 2012, no. 4, pp. 47–60 (in Russ.).
2. Voytsekhovskiy S.V., Khomonenko A.D. Revealing harmful program influences based on fuzzy conclusions. *Problemy informatsionnoy bezopasnosti. Kompyuternye sistemy* [Information security problems. Computer systems]. 2011, no. 3, pp. 81–91 (in Russ.).
3. Lohvitskiy V.A., Kalinichenko S.V., Nechay A.A. An approach to the construction of an automated system of information integration into a database for timely update. *Mir sovremennoy nauki* [The world of modern science]. 2014, no. 2, pp. 8–12 (in Russ.).
4. Tyrva A.V., Khomonenko A.D. Planning method for testing difficult program complexes at design and development stages. *Nauch.-tekhnich. vedomosti SPb gos. politekhnich. un-ta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie* [St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunications and Control Systems]. 2009, vol. 4, no. 82, pp. 125–131 (in Russ.).
5. Nechay A.A., Matveev S.V., Safonov V.M. Selection and justification of performance for solving the problem of distribution facilities by destruction means. *Mir sovremennoy nauki* [The world of modern science]. 2014, no. 2, pp. 13–16 (in Russ.).

УДК 004.414.23

Дата подачи статьи: 09.01.2014

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ГЛОБАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

А.А. Бондаренко, аспирант

(Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем,  
ул. Викторенко, 7, г. Москва, 125319, Россия, bondarenko.a.a.7@gmail.com)

В данной статье рассматривается проблема выбора системы имитационного моделирования для исследования глобально распределенных автоматизированных информационных систем. В последние годы сформировался особый

класс этих систем, которые можно назвать глобально распределенными. Они отличаются наличием центральной БД и разветвленной структурой из сотен локальных СУБД, распределенных на значительной территории. Автор описывает ключевые особенности этих систем и приходит к выводу о необходимости исследования протекающих в них технологических процессов обработки информации. В статье обоснован выбор имитационного моделирования в качестве средства анализа. Анализируются наиболее популярные и подходящие под рассматриваемую задачу программные пакеты имитационного моделирования: Simulink, GPSS World, Extend и Arena, при этом дается обобщенная характеристика каждого программного продукта. Выдвигается тезис о неочевидности выбора одного из программных продуктов и предлагается оценить свойства системы, существенные для решения поставленной задачи. При построении иерархической структуры признаков используется предложенная Дэвидом Кельтоном группировка возможностей программных продуктов, а в качестве механизма агрегирования – суммирование значений показателей по локальным или интегральным группам дерева. Сравниваются веса качеств систем, и на основе их анализа выбирается наиболее оптимальная (с большим весом качества) система. В результате проведенного исследования для анализа глобально распределенных автоматизированных информационных систем автор предлагает использовать систему имитационного моделирования Simulink.

**Ключевые слова:** автоматизированная информационная система, имитационное моделирование, сравнительный анализ, агрегирование, Simulink, Matlab, Arena, GPSS, Extend.

Received 09.01.2014

### SIMULATION SYSTEMS COMPARATIVE ANALYSIS FOR INFORMATION PROCESSING RESEARCH IN A GLOBALLY DISTRIBUTED AUTOMATED INFORMATION SYSTEMS

*Bondarenko A.A., Postgraduate Student (State Research Institute of Automatic Systems,  
Viktorenko St. 7, Moscow, 125319, Russian Federation, bondarenko.a.a.7@gmail.com)*

**Abstract.** This article examines the problem of simulation system choice for globally distributed automated information systems (AIS) research. A special type of AIS, the so called globally distributed ones, has emerged in recent years. Such systems differ from their predecessors thanks to having a central database and a complicated structure of hundreds local database management systems (DBMS) distributed over a significant area. The author describes the key features of the discussed systems and insists on the necessity of studying information processing technologies progressing in them. The choice of the simulation method for such cases of analysis is well-grounded. The article also analyzes popular and reasonable software packages related to simulation: Simulink, GPSS World, Extend and Arena; and gives generalized descriptions of every software product. The author considers the thesis of non-obviousness while discussing the choice of software products and offers to evaluate their quality presented as a set of system properties essential for solving the occurred problem. To construct the hierarchy of features the author uses the classification of software products possibilities given in "Simulation" by David Kelton. Indicator value summation for local or integral tree groups is used as an aggregating mechanism. At the same time quality weights of various systems are compared. It helps to choose the most optimum (with higher quality weight) system. As a result of the study, the author suggests using Simulink simulation system for analyzing globally distributed automated information systems.

**Keywords:** automated information system, simulation modeling, comparative analysis, aggregation, Simulink, Matlab, Arena, GPSS, Extend.

В последние годы сформировался особый класс *автоматизированных информационных систем* (АИС), которые можно назвать глобально распределенными. К ним относятся банковские системы, системы бронирования и продажи билетов, консульские информационные системы и т.п. Такие АИС создаются для государственных ведомств или крупных корпораций и отличаются наличием центральной БД и разветвленной структурой из сотен локальных БД, распределенных на значительной территории, иногда даже на разных континентах. При этом локальные БД зачастую используют различные СУБД, образуя гетерогенную информационную среду. Глобально распределенные АИС решают различные задачи, такие как накопление и обработка информации, автоматизация деятельности. Естественно, что на эффективность их работы прежде всего влияют *технологические процессы обработки информации* (ТПОИ). Таким образом, для повышения эффективности систем рассматриваемых систем необходимо ставить вопрос о выборе показателей эффективности ТПОИ, а также метода их формального описания.

Для научного исследования ТПОИ обычно прибегают к формальному описанию процессов систем с некоторыми допущениями, имеющими вид математических или логических отношений, составляющих модель. В случае простых отношений достаточно использовать аналитическое моделирование, однако большинство современных информационных систем, в том числе глобально распределенные АИС, являются очень сложными, и для них невозможно создать аналитическую модель. В таких случаях прибегают к имитационному моделированию. В случае сложных систем наиболее полное определение было предложено в [1]. При имитационном моделировании реализующий модель алгоритм воспроизводит процесс функционирования системы во времени, причем имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени, что дает возможность по исходным данным получить сведения о состояниях процесса в определенные моменты времени, дающие возможность оценить характеристики системы. Необходимо отметить, что имитационная модель позволяет

легко описать стохастические процессы, нелинейные характеристики элементов и другие особенности сложных информационных систем.

Для построения имитационной модели можно использовать универсальные языки программирования, такие как С или С++, либо прибегнуть к помощи пакетов имитационного моделирования. Сравнение преимуществ этих двух подходов дано в работе [2]. Ясно, что для решения задачи исследования распределенных АИС, когда необходимо описывать множество устройств и подсистем, выводить разнообразную статистику работы на интересующих участках модели, а также неоднократно изменять параметры блоков (устройств) для проведения имитационных экспериментов, целесообразно использовать пакеты имитационного моделирования, в которых уже реализован необходимый функционал.

В процессе эволюционирования инструментальных средств имитационного моделирования к настоящему моменту появилось множество программных пакетов, обычно использующих в модельной структуре объекты, свойства, очереди и ресурсы. Эти пакеты разделяются на два основных типа: предметно-ориентированные программы моделирования (построение модели с помощью графического интерфейса) и языки имитационного моделирования (написание программного кода). Среди всего разнообразия программных решений наибольший интерес представляют GPSS World, Extend, Arena, Simulink.

GPSS World – среда компьютерного моделирования общего назначения, позволяющая описать модель на языке GPSS, подать на вход характеристики системы, а на выходе получить статистику по итогам экспериментов. GPSS World является очень гибким инструментом, подстраиваемым под любую задачу благодаря работе непосредственно с программным кодом. Система также имеет богатый функционал для построения отчетов и вывода статистических данных.

Extend – это графическая среда моделирования, где разнообразные конфигурации систем могут быть представлены в виде блоков, настройка и создание которых осуществляются с использованием внутреннего языка ModL. Разработчиками реализованы механизм наследования и возможность создания иерархии в модели. Пакет поставляется компанией Imagine That, Inc.

Arena поставляется компанией Systems Modeling Corporation. Моделирующие конструкции, именуемые в пакете модулями, объединены в шаблоны Basic Process, Advanced Process и Advanced Transfer. Модули, имеющие свои параметры и настройки, реализованы в виде блоков, отображаемых в окне работы с моделью. Пакет поддерживает язык Visual Basic for Applications (VBA) компании Microsoft, что дает возможность считывать данные из других приложений и запи-

сывать в другие приложения (например Excel). Таким образом, можно создавать удобные интерфейсы для ввода параметров модели и генерирования отчетов заданного формата.

Simulink – графическая среда имитационного моделирования, позволяющая при помощи блок-диаграмм в виде непрерывных графов строить модели дискретных и непрерывных систем. Программа имеет расширяемую библиотеку стандартных блоков и богатый функционал для проведения имитационных экспериментов. Главной особенностью этой системы является ее интегрированность в среду Matlab, предоставляющую пользователю практически неограниченные возможности по обработке входных и выходных данных модели.

Выбор системы для решения задачи исследования ТПОИ в глобально распределенных АИС неочевиден, поскольку данные системы имеют ряд особенностей, таких как

- множество устройств, объединенных в подсистемы;
- наличие в некоторых подсистемах автономных ТПОИ, влияющих на загрузку устройств глобальной АИС;
- множество точек слияния и ветвления ТПОИ, которые предполагают рождение новых транзактов (сущностей) в имитационной модели, и наделение их новыми атрибутами (параметрами).

Для учета всех особенностей разработки имитационной модели и проведения над ней экспериментов в процессе анализа пакетов имитационного моделирования необходимо сравнить их качество по заданным критериям.

Качество системы – это совокупность ее свойств, существенных при решении конкретной задачи или класса задач. На основе сравнения весов качеств выбирается более оптимальная (с большим весом качества) система. Понятие качества образует многоуровневую структуру свойств, чаще всего дерево, и для оценки качества объекта необходимо агрегировать результаты измерения свойств, находящихся на нижнем уровне структуры. В [3] описана методика оценки качества систем путем агрегирования результатов измерения в иерархической структуре. Под агрегированием понимается построение обобщенных оценок объектов по признакам, заданным иерархической структурой. В качестве иерархических структур обычно рассматриваются древовидные или сетевые. Понятие наилучшего определяется с помощью задания обобщенного показателя качества и нахождения объекта, для которого данный показатель достигает экстремального значения (max – если показатель характеризует прибыль или выгоду, min – если потери). Соответствующий объект называется оптимальным по заданному показателю.

При выборе программных средств необходимо учитывать все предоставляемые ими возможности, которые можно объединить в следующие группы [2]:

- основные характеристики;
- совместимое оборудование и программное обеспечение;
- анимация;
- средства получения и обработки статистических данных;
- документация;
- отчеты с выходными данными и графиками.

Для решения задачи агрегирования была построена иерархическая структура признаков, которые характеризуют представленные группы возможностей. Признаки были выбраны с учетом задачи исследования ТПОИ в глобально распределенных АИС. Дерево признаков изображено на рисунках 1 и 2, при этом ветвь основных характеристик представлена для наглядности отдельно (рис. 2).

Пронумеруем вершины дерева, представленного на рисунках 1 и 2, по ветвям, то есть индекс вершины будет указывать путь к этой вершине от корневой.

1. Основные характеристики.
  - 1.1. Разработка модели.
    - 1.1.1. Идеографический режим:
      - 1.1.1.1. в процессе разработки модели;
      - 1.1.1.2. в процессе проведения экспериментов.
    - 1.1.2. Непосредственная работа с кодом:
      - 1.1.2.1. в процессе разработки модели;
      - 1.1.2.2. в процессе проведения экспериментов.
  - 1.2. Работа со структурой модели.
    - 1.2.1. Возможность определять и изменять атрибуты объектов и глобальных переменных.
    - 1.2.2. Возможность использовать математические выражения и функции.
    - 1.2.3. Возможность создавать новые моделирующие конструкции и изменять уже существующие, а также применять новые и измененные моделирующие конструкции в данной и будущих моделях.
  - 1.3. Средства отладки.
    - 1.3.1. Отслеживание состояния модели:
      - 1.3.1.1. общие сведения;
      - 1.3.1.2. значения переменных.
    - 1.3.2. Отслеживание состояния объектов:
      - 1.3.2.1. значения атрибутов объектов;

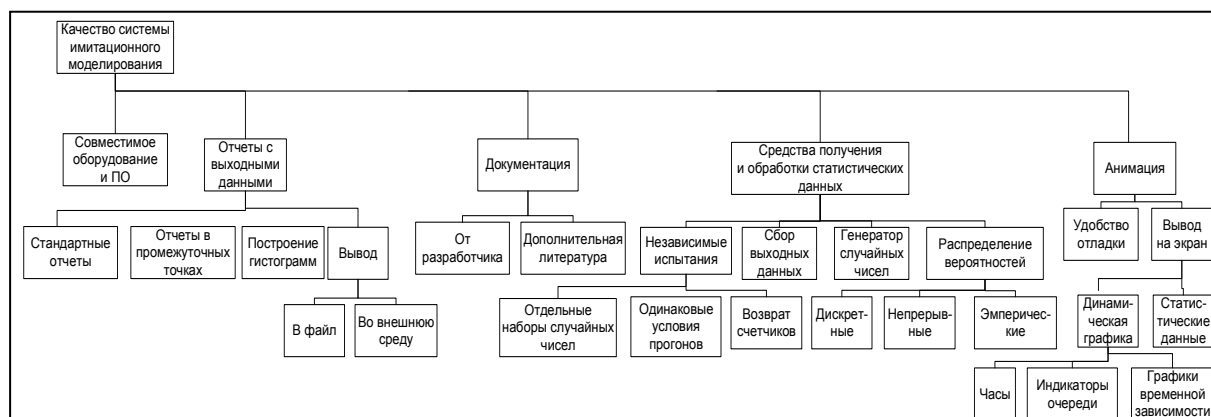


Рис. 1. Дерево признаков качества

Fig. 1. Quality features tree

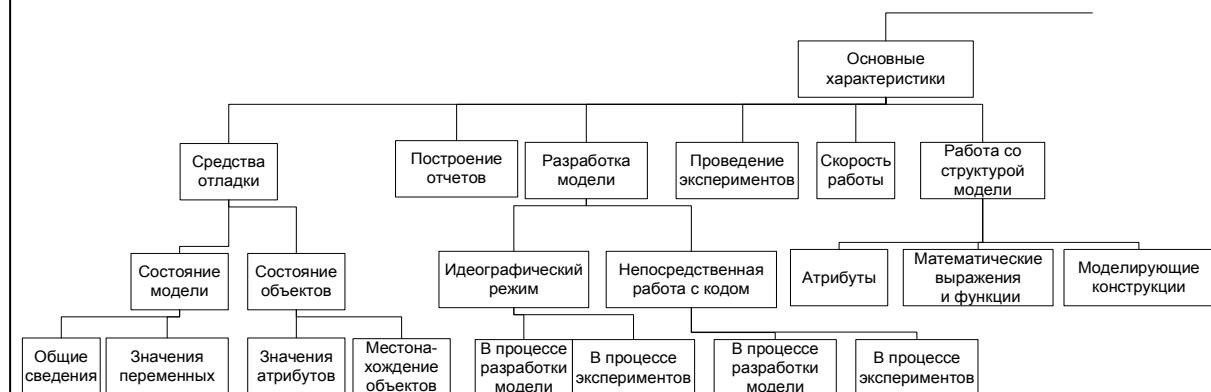


Рис. 2. Ветвь основных характеристик дерева качества

Fig. 2. The branch of quality tree main features

1.3.2.2. местонахождение объектов.  
1.4. Скорость работы.

1.5. Проведение экспериментов.  
1.6. Построение отчетов.

## Оценки качества в конечных вершинах

## Quality evaluation in leaf nodes

Признаки качества	GPSS World	Extend	Arena	Simulink
Идеографический режим:				
в процессе разработки	0	1	2	2
в процессе экспериментов	0	1	2	2
Работа с кодом:				
в процессе разработки	2	1	1	1
в процессе экспериментов	2	1	1	1
Работа со структурой:				
с атрибутами и переменными	2	2	2	2
с математическими выражениями и функциями	1	1	1	2
с моделирующими конструкциями	0	0	0	2
Процесс отладки:				
общие сведения о модели	1	2	1	2
значения переменных	1	1	1	2
значения атрибутов объектов	1	1	2	2
местонахождение объектов	1	1	1	1
Скорость работы	2	1	1	1
Проведение экспериментов	2	2	1	2
Построение отчетов	1	1	1	2
<b>Основные характеристики, итого</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>24</b>
Совместимое оборудование и программное обеспечение	1	1	2	2
<b>Совместимое ПО, итого</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
Использование анимации при отладке	0	2	1	2
Вывод информации на экран:				
модельного времени	1	1	1	1
индикаторов очередей	1	2	2	2
графиков временных зависимостей	1	2	2	2
Вывод на экран статистических данных	1	1	1	1
<b>Анимация, итого</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Генератор случайных чисел	2	2	2	2
Поддержка распределений вероятностей:				
дискретные распределения	1	1	1	2
непрерывные распределения	1	1	1	2
эмпирические распределения	2	1	1	1
Независимые испытания:				
наборы случайных чисел для каждого прогона	2	2	2	2
исходные условия для каждого прогона	2	2	2	2
возврат счетчиков в исходное состояние	2	2	2	2
Сбор выходных данных	1	1	2	2
<b>Статистические средства, итого</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>15</b>
Документация от разработчика	2	1	1	2
Дополнительная литература	2	1	1	2
<b>Документация, итого</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
Стандартные отчеты	1	1	1	1
Отчеты в промежуточных точках прогона модели	2	1	1	2
Построение гисторамм	1	2	1	2
Вывод данных				
в файл	2	1	1	2
во внешнюю среду	0	0	2	2
<b>Отчеты, итого</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>9</b>
<b>Оценка качества</b>	<b>44</b>	<b>44</b>	<b>47</b>	<b>62</b>

2. Совместимое оборудование и программное обеспечение.

3. Анимация.

3.1. Удобство использования анимации для отладки моделирующей компьютерной программы.

3.2. Вывод информации на экран.

3.2.1. Вывод на экран динамической графики:

3.2.1.1. часы;

3.2.1.2. индикаторы очереди;

3.2.1.3. графики временной зависимости.

3.2.2. Вывод на экран статистических данных.

4. Средства получения и обработки статистических данных.

4.1. Генератор случайных чисел, поддерживающий достаточное количество потоков для назначения всему спектру различных случайных факторов модели.

4.2. Поддержка распределений вероятностей.

4.2.1. Дискретные распределения.

4.2.2. Непрерывные распределения.

4.2.3. Эмпирические (заданные пользователем) распределения.

4.3. Возможность выполнять независимые испытания.

4.3.1. Отдельные наборы случайных чисел для каждого прогона.

4.3.2. Одни и те же исходные условия для каждого прогона.

4.3.3. Возврат статистических счетчиков в исходное состояние.

4.4. Сбор выходных данных для указанных критериев работы модели.

5. Документация.

5.1. Документация от разработчика.

5.2. Дополнительная литература.

6. Отчеты с выходными данными и графиками.

6.1. Стандартные отчеты.

6.2. Отчеты в промежуточных точках прогноза имитационной модели и в точке останова.

6.3. Построение гисторамм наблюдаемых данных.

6.4. Вывод статистических данных.

6.4.1. В файл.

6.4.2. Во внешнюю среду.

Оценку конечных свойств, входящих в данную структуру качества системы, будем выполнять в шкалах с тремя градациями:

0 – рассматриваемое свойство для системы отсутствует;

1 – рассматриваемое свойство для системы присутствует, но реализовано плохо/неудобно;

2 – рассматриваемое свойство для системы присутствует и реализовано хорошо/удобно.

В качестве механизма агрегирования используем суммирование значений показателей по локальным или интегральным группам дерева. При таком выборе шкал и механизма агрегирования оценка качества разрабатываемого комплекса имеет хорошую интерпретацию – число требований, выполняемых для рассматриваемого комплекса.

В таблице приведены оценки конечных вершин дерева признаков для рассматриваемых пакетов имитационного моделирования. В ней также отражены суммы оценок качества для каждой группы возможностей. Максимальная оценка качества пакета имитационного моделирования  $M = 70$ . По результатам оценки для решения задачи имитационного моделирования ТПОИ в глобальной распределенной АИС наиболее оптимально по сравнению с другими системами является система Simulink. Необходимо отметить, что Simulink получила столь высокую оценку благодаря полной интеграции в пакет Matlab, который, в свою очередь, позволяет производить любые манипуляции с наборами данных.

#### Литература

1. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: учеб. для вузов; 3-е изд. М.: Высш. шк., 2001. 343 с.

2. Аверилл М. Лоу, В. Дэвид Кельтон. Имитационное моделирование. Классика CS; 3-е изд. СПб: Питер; Киев; Издат. группа BHV, 2004. 847 с.

3. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа: учеб.; 2-е изд. Томск: Изд-во НТЛ, 1997. 396 с.

4. Рыжиков Ю.И. Оценка системы моделирования GPSS WORLD // Информационно-управляющие системы. 2003. № 2–3. С. 30–38.

5. Красносельский А.В., Сидоренко В.Н. Имитационное моделирование в науке и бизнесе: подходы, инструменты, применение // Бизнес-информатика. 2009. № 2. С. 52–57.

6. Altiok T., Melamed Benjamin. Simulation Modeling and Analysis with ARENA. Amsterdam; Boston: Academic Press, 2007, 440 p.

7. Klee H. Simulation of Dynamic Systems with Matlab and Simulink. CRC Press Inc, Taylor&Francis Group, Boca Raton London, NY, 2007, 784 p.

#### References

1. Sovetov B.Ya., Yakovlev S.A. *Modelirovanie sistem* [System modeling]. University textbook. 3rd ed., Moscow, Vyssh. shk. Publ., 2001, 343 p.

2. Law A.M., Kelton W.D. *Simulation modeling and analysis. Classic CS*. 3rd ed., St. Petersburg, Piter Publ., Kiev, BHV Publ. group, 2004, 847 p.

3. Peregudov F.I., Tarasenko F.P. *Basics of system analysis*. Textbook, 2nd ed., Tomsk, NTL Publ., 1997, 396 p.

4. Ryzhikov Yu.I. Evaluating of Modeling System of GPSS WORLD. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy* [Information and Control Systems]. 2003, no. 2–3, pp. 30–38 (in Russ.).

5. Krasnoselskiy A.V., Sidorenko V.N. Simulation in science and business: approaches, tools, application. *Biznes-informatika* [Business Informatics]. 2009, no. 2, pp. 52–57 (in Russ.).

6. Altiok T., Melamed B. *Simulation Modeling and Analysis with ARENA*. Amsterdam, Boston, Academic Press, 2007, 440 p.

7. Klee H. *Simulation of Dynamic Systems with Matlab and Simulink*. CRC Press Inc., Taylor&Francis Group, Boca Raton London, NY, 2007, 784 p.