

УДК 338.24

И. М. Якимов, А. П. Кирпичников, Р. Ф. Халиуллин,  
С. А. Мальцев, М. Ш. Ситдигов

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ RAND MODEL DESIGNER

*Ключевые слова:* имитационное моделирование, аналитическое моделирование, система массового обслуживания, система имитационного моделирования Rand Model Designer.

*В статье приводится описание системы имитационного моделирования Rand Model Designer. Статья призвана способствовать выбору инструментальных средств для моделирования конкретных вероятностных объектов в соответствии с предметной областью, к которой относится объект, с учётом личных предпочтений пользователя и с учётом достоверности результатов имитационного моделирования.*

*Keywords:* simulation, analytical modeling, queuing system, the system Rand Model Designer, the design based on simulation.

*The article describes a simulation system Rand Model Designer. The article aims to contribute to the selection of tools for modeling concrete objects of probability in accordance with the subject area to which the object, taking into account the personal preferences of the user, and taking into account the reliability of the simulation result.*

### Введение

На фоне повышенного интереса специалистов по имитационному моделированию (ИМ) к бесплатным системам имитационного моделирования (СИМ) представляется весьма целесообразным сделать их обзор с одних и тех же позиций. Это позволит выбирать СИМ в зависимости от предметной области ИМ и собственных пристрастий пользователей. Такие широко используемые СИМ как: Anylogic, Arena, Simulink и другие рассмотрены в источниках [1-4].

Известная СИМ Model Vision Studium сменила своё название и теперь называется Rand Model Designer [5]. Она разработана Компанией MVSTUDIUM Group основанной в 1997 году. Rand Model Designer (2011 г.) – это система визуального объектно-ориентированного ИМ дискретных, непрерывных и гибридных систем, ориентированная на парадигму языка UML [6]. Последняя версия СИМ Rand Model Designer (RMD), разработка которой закончена в июле 2016 года, поддерживает технологию «физического» (создание модели в уменьшенных масштабах) моделирования, хорошо известную пользователям СИМ на базе языка моделирования Modelica [5].

В СИМ Rand Model Designer пользователь может создать динамический моделируемый объект с помощью конструктора new и уничтожить с помощью процедуры destroy, а также создать динамическую связь с помощью процедуры connect и уничтожить ее с помощью процедуры disconnect. Введены переменные объектного типа, определяющие ссылки на – статические или динамические объекты. Объекты ссылок можно хранить в массивах и списках.

Для описания поведения дискретных и гибридных объектов используется карта поведения – модификация диаграммы состояний UML [6], в которой изменение состояния элементов модели производится при входе в них динамических объектов.

Поддерживаются типовые вычислительные эксперименты: вычисления вероятностей событий, математических ожиданий и дисперсий переменных, построения параметрических зависимостей, определения глобальной чувствительности.

### Основные особенности СИМ Rand Model Designer

СИМ Rand Model Designer – это система, позволяющая создавать модели сложных систем массового обслуживания и бизнес-процессов и проводить с ними эксперименты [6].

Отличительными особенностями СИМ Rand Model Designer являются:

- объектно-ориентированный метод моделирования;
- интуитивная интегрированная среда;
- контроль над корректностью модели на всех этапах ее создания и использования;
- автоматическое построение выполняемой модели по представлению объекта, создаваемому в интегрированной среде;
- поддержка интерактивного и автоматизированного эксперимента с выполняемой моделью;
- широкий спектр средств проведения и визуализации интерактивного и автоматизированного эксперимента;
- 2D- и 3D-анимация;
- возможность моделирования дискретных, непрерывных и гибридных (непрерывно-дискретных) систем;
- возможность создания и использования библиотечных элементов;
- возможность использования выполняемой модели в качестве независимой программы или динамической библиотеки.


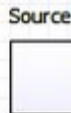

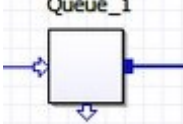

В инструментарии СИМ Rand Model Designer сделана попытка соединить сильные стороны двух направлений: поддерживать «физическое моделирование» как это делается в языке Modelica [5], и использовать при этом объектную парадигму и диаграммы состояний языка UML [6].

Работа в СИМ Rand Model Designer начинается с того, что пользователь «запускает» интегрированную среду. Интегрированная среда – это средство разработки моделей. Используя ее, пользователь создает проект, являющийся описанием моделируемого объекта, или структурной моделью. Цель наполнения проекта данными по функционирова-

нию элементов моделируемого объекта – создание его адекватной модели. Когда описание модели закончено, пользователь запускает модель, нажимая на кнопку «Запустить визуальную модель» главной панели инструментов. После этого открывается дополнительное окно, в котором можно указать пошаговое выполнение модели. После этого SIM Rand Model Designer автоматически строит и запускает визуальную выполняемую модель, предоставляющую широкий спектр средств для взаимодействия с ней.

В любой момент времени возможно остановить выполнение моделирования по визуальной модели, внести в неё изменения и заново запустить процесс моделирования. Модель в SIM Rand Model Designer строится из элементов. В рамках проекта пользователь имеет возможность использовать как элементы, существующие в самом проекте, так и имеющиеся в доступных пользователю библиотеках. Библиотеки могут создаваться как самим пользователем, так и другими пользователями. В таблице 1 приведены основные стандартные классы в SIM Rand Model Designer.

**Таблица 1 - Основные стандартные классы в SIM Rand Model Designer**

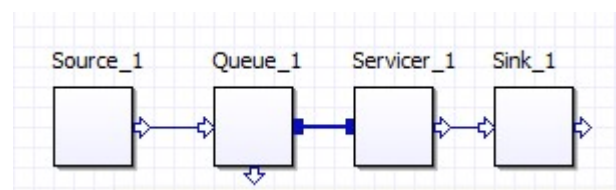
№	Наименование класса	Описание	Нотация
1.	• Transaction	Объект Transaction определяет абстрактную транзакцию и содержит атрибуты, необходимые для определения времени ожидания и обслуживания конкретной транзакции, параметры распределения времени обслуживания	
2.	• Source	Объект Source генерирует транзакции через интервалы времени, распределенные по законам со средним временем T	
3.	• Servicer	Объект Servicer имитирует деятельность по обслуживанию транзакций - объектов класса Transaction. Обслуженные транзакции передаются в качестве параметра выходного сигнала ExitTransaction. Карта поведения имеет два состояния – SEmpty (объект свободен) и Busy (объект занят обслуживанием транзакции).	
4.	• Queue	Объект класса Queue реализует очередь типа «Первым пришел – первым ушел» (FIFO) максимальной длины Capacity. По входному сигналу NewTransaction его параметр – объект класса Transaction – либо заносится в очередь последним, либо, если очередь уже имеет максимальную длину, передается в качестве параметра выходного сигнала DenialOfService.	
5.	• Sink	Объект класса Sink реализует «сток», в котором поступающие посредством сигнала NewTransaction транзакции уничтожаются.	

Использование SIM Rand Model Designer продемонстрируем на имитационных моделях трёх систем массового обслуживания со сравнением результатов ИМ с результатами аналитического моделирования (АМ). Формулы аналитического моделирования СМО заимствованы из [7, 8].

**Имитационная модель СМО М/М/1**

СМО М/М/1 – генератор заявок – очередь – ОА (Рис.1.). Время между поступлением заявок в систему распределено по экспоненциальному закону со средним 10 единиц времени. Время обслуживания распределено по экспоненциальному закону со

средним 6 единиц времени. Очередь неограниченной длины. Завершение моделирования после вывода из системы 10000 заявок.



**Рис. 1 - Структурная модель СМО М/М/1**

Результаты аналитического и имитационного моделирования СМО М/М/1 приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования**

Сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования СМО М/М/1					
№	Наименование	АМ	ИМ	Разница	Разница в %
1	Среднее количество заявок в очереди	0,9	0,894	0,006	0,667%
2	Среднее количество заявок в ОА	0,6	0,604	0,004	0,667%
3	Среднее количество заявок в системе	1,5	1,514	0,014	0,934%
4	Среднее время ожидания заявок в очереди	9	8,86	0,014	0,156%
5	Среднее время задержки заявок в ОА	6	5,985	0,015	0,25%
6	Среднее время пребывания заявок в системе	15	15,028	0,028	0,187%
Среднее значение разницы в процентах по шести показателям					0,477%
Сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования СМО М/М/5					
1	Среднее количество заявок в очереди	0,354	0,368	0,014	3,95%
2	Среднее количество заявок в ОА	3	2,947	0,053	1,77%
3	Среднее количество заявок в системе	3,354	3,454	0,1	2,982%
4	Среднее время ожидания заявок в очереди	3,542	3,468	0,074	2,09%
5	Среднее время задержки заявок в ОА	30	30,215	0,215	0,717%
6	Среднее время пребывания заявок в системе	33,542	34,134	0,592	1,75%
Среднее значение разницы в процентах по шести показателям					2,21%
Сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования СМО М/М/5/2					
1	Среднее количество заявок в очереди	0,126	0,13	0,004	3,17%
2	Среднее количество заявок в ОА	2,897	2,92	0,023	0,79%
3	Среднее количество заявок в системе	3,023	3,054	0,031	1,025%
4	Среднее время ожидания заявок в очереди	1,308	1,362	0,054	4,12%
5	Среднее время задержки заявок в ОА	30	30,105	0,105	0,35%
6	Среднее время пребывания заявок в системе	31,308	30,956	0,385	1,23%
Среднее значение разницы в процентах по шести показателям					1,78%

**Имитационная модель СМО М/М/5**

Структурная модель данной СМО такая же как предыдущей а разница только в том, что в данном случае ОА пятиканальный.

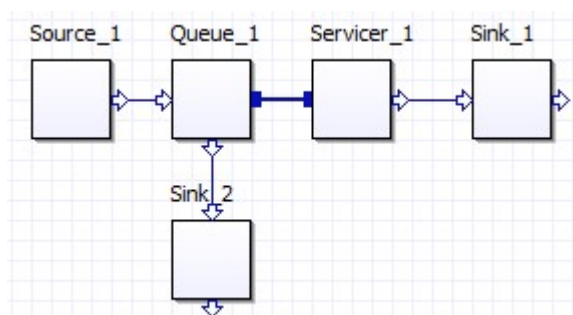
СМО М/М/5 – генератор заявок – очередь – пять ОА. Время между поступлением заявок в систему распределено по экспоненциальному закону со средним 10 единиц времени. Время обслуживания распределено по экспоненциальному закону со средним 30 единиц времени. Количество обслуживающих аппаратов 5. Очередь неограниченной длины. Завершение моделирования после вывода из системы 10000 заявок.

Результаты аналитического и имитационного моделирования СМО М/М/5 приведены в табл. 2.

**Имитационная модель СМО М/М/5/2**

СМО М/М/5/2 – генератор заявок – очередь – пять ОА (рис. 2). Время между поступлением заявок в систему распределено по экспоненциальному закону со средним 10 единиц времени. Время обслуживания распределено по экспоненциальному закону со средним 30 единиц времени. Количество обслуживающих аппаратов 5. Количество мест в очереди 2. Завершение моделирования после вывода из системы 10000 заявок.

Результаты аналитического и имитационного моделирования СМО М/М/5/2 приведены в табл. 2.



**Рис. 2 - Структурная модель СМО М/М/5/2**

**Заключение**

Проведённый анализ позволил оценить достоинства и недостатки СИМ Rand Model Designe [6]. Назовём достоинства системы.

1. Объектно-ориентированный подход к моделированию позволяет создавать библиотеки типовых компонентов имитационных моделей, повторно использовать их, модифицировать, обмениваться компонентами с другими пользователями, и тем самым существенно экономить время разработки новых проектов.
2. Входной язык не предъявляет никаких требований к знаниям по программированию: используются интуитивно понятные общепринятые формы для описания математических зависимостей и визуальные диаграммы для описания структуры и качественных изменений поведения моделируемой системы.
3. Поддерживаются все виды связей между компонентами, в частности ненаправленные связи, что

позволяет применять хорошо известные и интуитивно понятные методы моделирования физических систем, основанные на соединении готовых компонентов.

4. Программный код выполняемой модели автоматически генерируется на основе структурной модели и компилируется, что обуславливает высокую производительность при проведении вычислительных экспериментов.

5. Имеются мощные средства отладки моделей и демонстрации результатов имитационных экспериментов, двухмерная и трехмерная анимация.

6. Наличие встроенных средств разработки интерактивных пользовательских интерфейсов модели (средств индикации и управления) позволяет использовать готовую модель в виде независимого программного продукта (компьютерного тренажера);

7. Возможность выполнять параметрическую оптимизацию моделей;

8. По результатам проведенного моделирования СМО М/М/1 отметим, что максимальная разница между результатами ИМ и АМ составила всего 0,934% для среднего времени ожидания заявки в очереди. Средняя разница по 6 показателям составила 0,477%.

9. По результатам моделирования СМО М/М/5 отметим, что максимальная разница между результатами ИМ и АМ составила 3,95% для среднего времени ожидания заявки в очереди. Средняя разница по 6 показателям составила 2,21%. Такие результаты свидетельствуют о высоком качестве системы Rand Model Designer.

10. По результатам моделирования СМО М/М/5/2 отметим, что максимальная разница между результатами ИМ и АМ составила 4,12% для среднего времени ожидания заявки в очереди. Средняя разница по 6 показателям составила 1,78%.

Недостатком системы является то, что время пользования бесплатной версией СИМ Rand Model Designer составляет 90 дней.

Таким образом, можно сделать вывод, что СИМ Rand Model Designer позволяет сравнительно быстро создавать модели многокомпонентных дискретных, непрерывных и гибридных (непрерывно-дискретных) систем. Входной язык не предъявляет никаких требований к знаниям по программированию: используются интуитивно понятные общепринятые формы для описания математических зависимостей и визуальные диаграммы для описания структуры и качественных изменений поведения моделируемой системы.

## Литература

1. Борщёв А.В. Имитационное моделирование: Состояние области на 2015 год, тенденции и прогноз. Труды седьмой Всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД\_2015). Том пленарных докладов. С.14-22.
2. Якимов И.М., Кирпичников А. П., Мокшин В.В., Костюхина Г.В., Шигаева Т.А. Комплексный подход к моделированию сложных систем в системе BPwin-Arena // Вестник Казан. технол. ун-та. 2014. Т.17. №6. С. 287-292.
3. Якимов И.М., Кирпичников А.П., Исаева Ю.Г., Аляутдинова Г.Р. Сравнение результатов имитационного моделирования вероятностных объектов в системах: Anylogic, Arena, Bizagi modeler, GPSS W // Вестник технол. ун-та, 2015. Т. 18, №16 . С.260-265.
4. Якимов И.М., Кирпичников А. П., Мокшин В.В., Мухутдинов Т.А. Обучение имитационному моделированию в пакете Simulink системы MATLAB // Вестник технол. ун-та, 2015. Т. 18, №5. С. 184-188.
5. [www.mvstudium.com](http://www.mvstudium.com)
6. <http://rmd.esy.es/>
7. Кирпичников А.П. Прикладная теория массового обслуживания. Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 2008-112с.
8. Кирпичников А.П. Методы прикладной теории массового обслуживания. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2011-200с.

© **И. М. Якимов** – канд. техн.наук, профессор кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления КНИТУ-КАИ им А.Н. Туполева; **А. П. Кирпичников** – д-р физ.-мат. наук, зав. каф. интеллектуальных систем и управления информационными ресурсами КНИТУ, [kirpichnikov@kstu.ru](mailto:kirpichnikov@kstu.ru); **Р. Ф. Халиуллин** – студент со степенью бакалавр кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ, e-mail: [constmanhitv@gmail.com](mailto:constmanhitv@gmail.com), **С. А. Мальцев** - студент со степенью бакалавр кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ, e-mail: [smalcev0@gmail.com](mailto:smalcev0@gmail.com), **М. Ш. Ситдиков** - студент со степенью бакалавр кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ, e-mail: [marat3895@gmail.com](mailto:marat3895@gmail.com).

© **I. M. Yakimov** – PhD, Professor of the Department of Automated Information Processing Systems & Control, KNRTU named after A.N. Tupolev; **A. P. Kirpichnikov** – Dr. Sci, Head of the Department of Intelligent Systems & Information Systems Control, KNRTU, e-mail: [kirpichnikov@kstu.ru](mailto:kirpichnikov@kstu.ru); **R. Ph. Khalullin** – Student with a degree of Bachelor, Department of Automated Data Processing Systems and Management, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, e-mail: [constmanhitv@gmail.com](mailto:constmanhitv@gmail.com), **S. A. Malcev** – Student with a degree of Bachelor, Department of Automated Data Processing Systems and Management, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, e-mail: [smalcev0@gmail.com](mailto:smalcev0@gmail.com), **M. Sh. Sitdikov** – Student with a degree of Bachelor, Department of Automated Data Processing Systems and Management, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, e-mail: [marat3895@gmail.com](mailto:marat3895@gmail.com).