

Научная статья

УДК 004.94

doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.013

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Светлана Николаевна Малыгина^{1, 2✉}, Елена Олеговна Неупокоева³

^{1, 3}*Институт информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова
Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия*

²*Филиал Мурманского арктического государственного университета в городе Апатиты,
Апатиты, Россия*

¹*malygina@iimm.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-6010-5662>*

³*neupokoeva@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4059-8724>*

Аннотация

Рассматриваются отечественные среды разработки имитационных моделей. Проводится сравнение программных продуктов, доступных российским пользователям, между собой, а также с наиболее популярным средством разработки Anylogic. Сравнение ведется по выделенным в процессе многолетней работы критериям отбора.

Ключевые слова:

имитационное моделирование, средства разработки имитационных моделей, сравнительный анализ

Благодарности:

работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 122022800547-3).

Для цитирования:

Малыгина С. Н., Неупокоева Е. О. Обзор современных средств имитационного моделирования // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 2. С. 134–143. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.013

Original article

OVERVIEW OF MODERN SIMULATION TOOLS

Svetlana N. Malygina^{1, 2✉}, Elena O. Neupokoeva³

^{1, 3}*Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre
of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

²*Apatity branch of the Murmansk Arctic State University, Apatity, Russia*

¹*malygina@iimm.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-6010-5662>*

³*neupokoeva@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4059-8724>*

Abstract

The article deals with domestic environments for the development of simulation models. The software products, available to Russian users, are compared with each other, as well as with the most popular Anylogic development tool. The comparison is carried out according to the selection criteria identified in the course of multi-year experience.

Keywords:

simulation modeling, simulation model development tools, comparative analysis

Acknowledgments:

the research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 122022800547-3).

For citation:

Malygina S. N., Neupokoeva E. O. Overview of modern simulation tools // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 134–143. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.013

Введение

Имитационное моделирование имеет большое значение в наши дни. Оно широко применяется во всех сферах человеческой деятельности: в образовании, медицине, производственной и экономической деятельности, научных исследованиях и т. д. Модели можно реализовывать на универсальных языках программирования или используя программные пакеты. Среди существующих инструментов есть среды

разработки как общего назначения, так и специализированные, которые применяются для конкретной предметной области (моделирование транспортных потоков, производственных технологических процессов и т. п.). В наше время наиболее распространенными инструментами имитационного моделирования в мировой практике являются Anylogic, GPSS, Powersim, Arena, Aimsun, NetLogo.

Большинство программных средств в сфере имитационного моделирования представлено зарубежными производителями. В настоящее время некоторые иностранные компании-разработчики разрывают контракты и отказываются предоставлять свои программные продукты для российских пользователей. В связи с этим на отечественном рынке может образоваться дефицит программных средств и возникнуть необходимость импортозамещения программными продуктами, разработанными в России или в дружественных странах. В данной обзоре рассматриваются отечественные средства разработки в области имитационного моделирования.

Инструментальные средства разработки моделей

Рассмотрим некоторые инструментальные средства разработки имитационных моделей, предназначенных для решения широкого круга задач.

Интегрированная система моделирования Actor Pilgrim разработана под руководством А. А. Емельянова в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»» (город Москва). Пакет Pilgrim предназначен для создания дискретно-непрерывных моделей. Он обладает широким спектром возможностей имитации временной, пространственной и финансовой динамики моделируемых объектов. Разрабатываемые модели имеют свойство коллективного управления процессом моделирования. В пакете есть возможность создания пользовательских функций (блоков модели) на стандартном языке C++. В основе лежит парадигма процессно-акторного имитационного моделирования. Актор — специальная агентная программа [1–2]. На сайте [3] заявлено, что существуют бесплатные версии для начинающих и студентов (Personal Learning Edition), для открытых исследований в университетах (University Researcher) и платная — для компаний и государственных организаций (Professional).

Система моделирования и анализа данных Imitak была разработана в Государственном университете управления, на кафедре экономической кибернетики (под руководством Ю. Н. Алексеева). Существует два пакета — Visual Imitak и Imitak Project. Visual Imitak — это программный продукт, который предназначен для создания и отладки имитационных моделей, анализа результатов моделирования и автоматизации модельных экспериментов. В этом пакете можно строить модели системной динамики, систем массового обслуживания [4]. Более поздняя разработка (Imitak Project) — интегрированная система для построения комплексных имитационных моделей, состоящих из произвольного количества субмоделей (рис. 1) [5]. Последнее обновление было в 2007 г., на данный момент ссылки на скачивание пакета не работают [6].

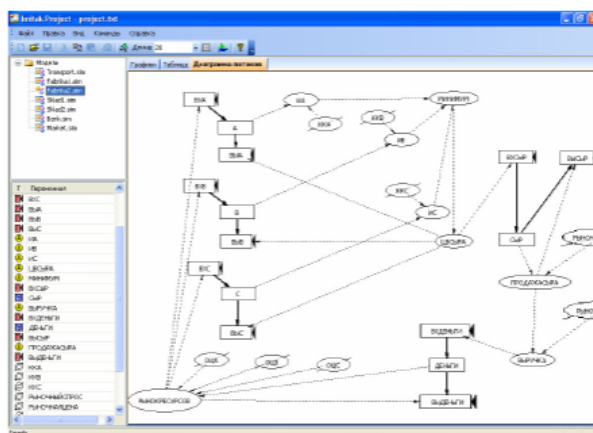


Рис. 1. Главное окно интегрированной системы разработки Imitak Project [5]

Среда моделирования GPSS STUDIO — программная система, позволяющая автоматизировать разработку дискретно-событийных имитационных моделей и проводить имитационные исследования (рис. 2). Моделирующим ядром системы является язык имитационного моделирования GPSS World. Пакет разработан ООО «ЭЛИНА – КОМПЬЮТЕР» и зарегистрирован в реестре отечественного программного обеспечения и Роспатенте [7, 8].

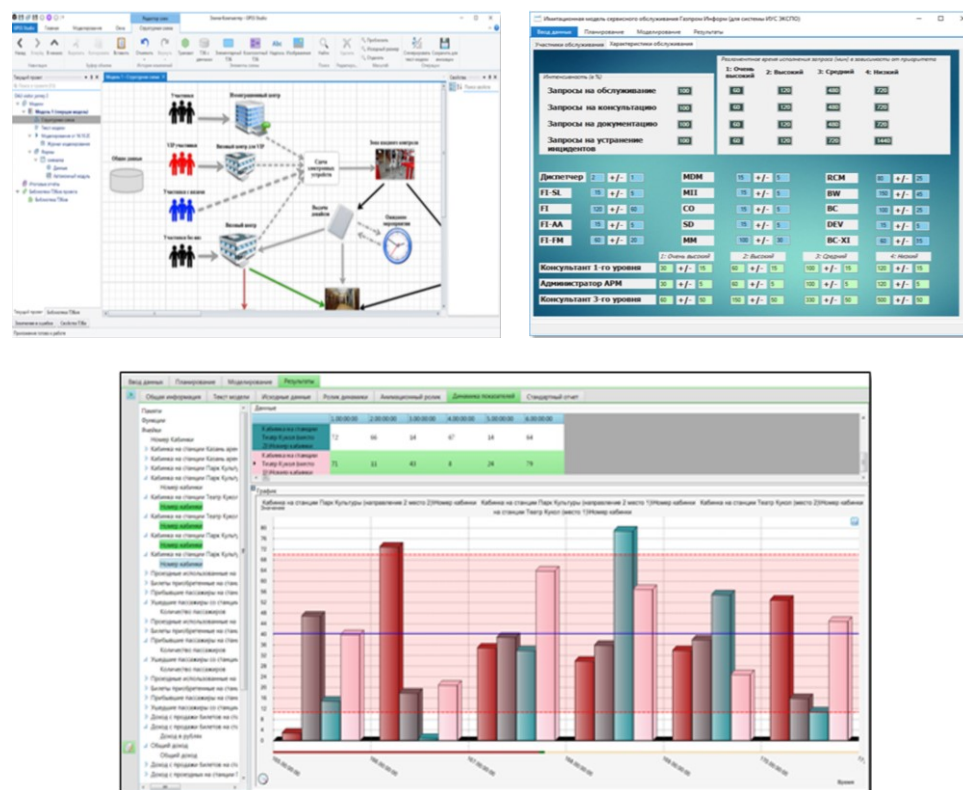


Рис. 2. Разработка моделей в среде GPSS STUDIO [8]

Основополагающими принципами, реализованными в среде GPSS Studio, являются [8]: 1) единое исследовательское пространство (все исходные данные, модели и результаты объединяются в виде единого проекта для каждой модели, на протяжении всего процесса исследования производится автоматизация действий исследователя); 2) упрощение взаимодействия с моделью (для каждой модели можно создать удобный, наглядный интерфейс, что упрощает работу с моделью в процессе исследования); 3) предоставление большого спектра инструментов для конструирования модели и проведения имитационных исследований, в том числе графических, подходящих для пользователей разного уровня подготовки; 4) создание приложений, ориентированных на предметную область, дает возможность массового использования моделей.

Главным плюсом среды GPSS Studio можно считать возможность создания анимационного ролика и независимого имитационного приложения для предоставления его заказчику. Кроме того, GPSS Studio позволяет использовать дедуктивный и индуктивный подходы или их комбинацию в визуальном редакторе при создании иерархических имитационных моделей и с помощью использования блоков GPSS формировать новую логику. В процессе моделирования возможно выполнение как одиночных экспериментов, так и серии, а также детальный мониторинг переменных. Присутствует и базовый функционал, с помощью которого можно отлаживать код, выполнять модели и анализировать результаты моделирования [8].

Веб-приложение iWebsim. Программа iWebsim представляет собой веб-приложение, предназначенное для имитационного моделирования динамических систем. В iWebsim реализуется комплексный подход к имитационному моделированию динамических систем, базирующийся на принципах и методологии системной динамики, дискретно-событийного моделирования, а также моделирования совокупностей («популяций») динамических объектов, способных к взаимодействию друг с другом (рис. 3) [9, 10].

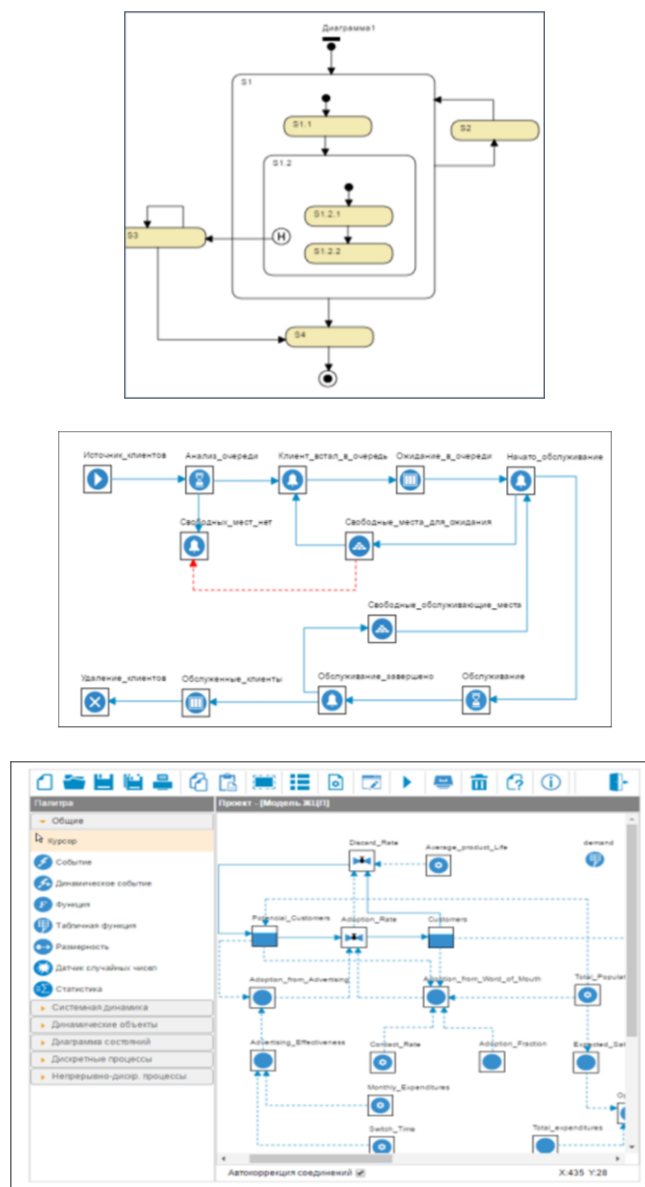


Рис. 3. Примеры реализации моделей в среде iWebsim [9]

Данная программа предоставляет пользователям среду разработки моделей динамических систем и все необходимые инструменты для проведения на их основе различных имитационных экспериментов. Разработчиком системы является Алексей Николаевич Балухто (Центральный научно-исследовательский институт машиностроения). Приложение является свободно распространяемым продуктом. В 2017 г. оно включено в реестр отечественного программного обеспечения [11]. На данный момент сервис (официальный сайт www.iwebsim.ru) недоступен.

Среда моделирования *Rand Model Designer* разработана коллективом авторов: Ю. Б. Колесовым (город Москва), Д. Б. Иниховым, Ю. Б. Сениченковым (город Санкт-Петербург). Предыдущее название — *MvStadium*. Она предназначена для моделирования сложных динамических систем. Позволяет быстро создавать визуальные интерактивные модели многокомпонентных непрерывных, дискретных и гибридных (непрерывно-дискретных) систем и проводить с ними активные вычислительные эксперименты. Создание модели, визуализация результатов и управление вычислительным экспериментом не требуют написания программного кода. Модели задаются на математическом уровне абстракции. Для описания непрерывного поведения используются дифференциально-алгебраические уравнения. Для описания дискретного и гибридного поведения используются визуальные карты поведения, являющиеся расширением карт состояний UML [12].

На рисунке 4 представлены примеры реализации моделей в среде *Rand Model Designer*.

Существует свободно распространяемая версия (*AnyDynamics*), которая отличается от *RMD 8 Professional* только тем, что не позволяет создавать модели, встраиваемые в приложение. Среда *Rand Model Designer* включена в реестр отечественного программного обеспечения [13].

Критерии выбора среды разработки

В Институте информатики и математического моделирования Кольского научного центра Российской академии наук многие годы идут работы по созданию методов и средств поддержки управления региональными социально-экономическими системами. Одним из основных инструментов является имитационное моделирование предметной области. В нашей работе при реализации моделей в основном использовался системно-динамический подход, позднее стали применять агентное моделирование, так как оно позволяет рассмотреть объект исследования на более детализированном уровне и задать более сложное поведение для элементов модели. В связи с этим в качестве среды разработки моделей на данный момент используется программное инструментальное средство *Anylogic*, предназначенное для решения широкого круга задач в сфере имитационного моделирования и поддерживающее совместную работу основных подходов к нему.

Изначально среда *Anylogic* была создана российскими разработчиками, но со временем права на программное обеспечение стали принадлежать США. В связи с этим есть вероятность потери доступа к этому программному обеспечению. Для поиска полноценной доступной замены нами были сформулированы следующие критерии: совместное применение системной динамики, агентного и дискретно-событийного моделирования; визуализация результатов моделирования (в виде графиков, таблиц, анимации); выгрузка / загрузка данных во внешнее приложение; возможность использования разработанных самостоятельно пользовательских функций; возможность создания исполняемого файла для просмотра работы модели независимо от установки среды разработки.

Сравнение рассмотренных пакетов моделирования по данным критериям приведено в таблице.

Заключение

В настоящее время в России ведутся разработки в области инструментальных средств имитационного моделирования, но они не могут охватить все подходы (системную динамику, дискретно-событийное и агентное моделирование) и обеспечить их совместную работу. В отличие от инструментальной среды *Anylogic*, использующейся в настоящее время, представленные средства в лучшем случае объединяют два подхода, а чаще всего используют только один. Поэтому, по нашему мнению, действенных отечественных аналогов программному средству *Anylogic* на данный момент на отечественном рынке не представлено. Наиболее близкой заменой может послужить среда *iWebsim*, но в настоящее время сервис недоступен.

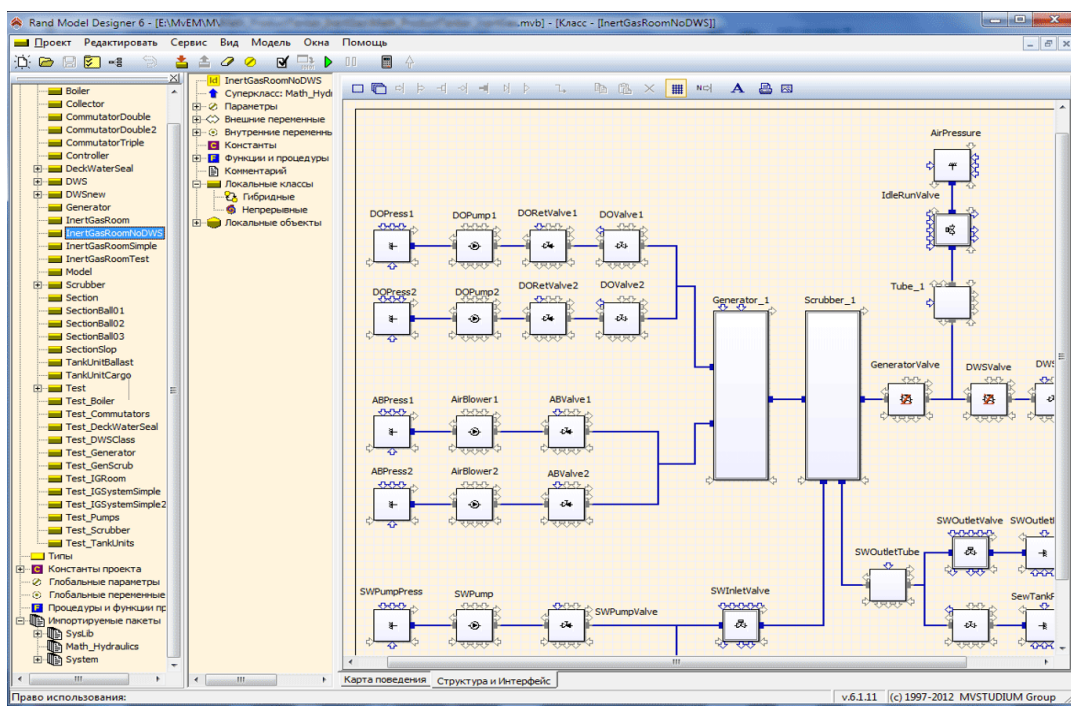
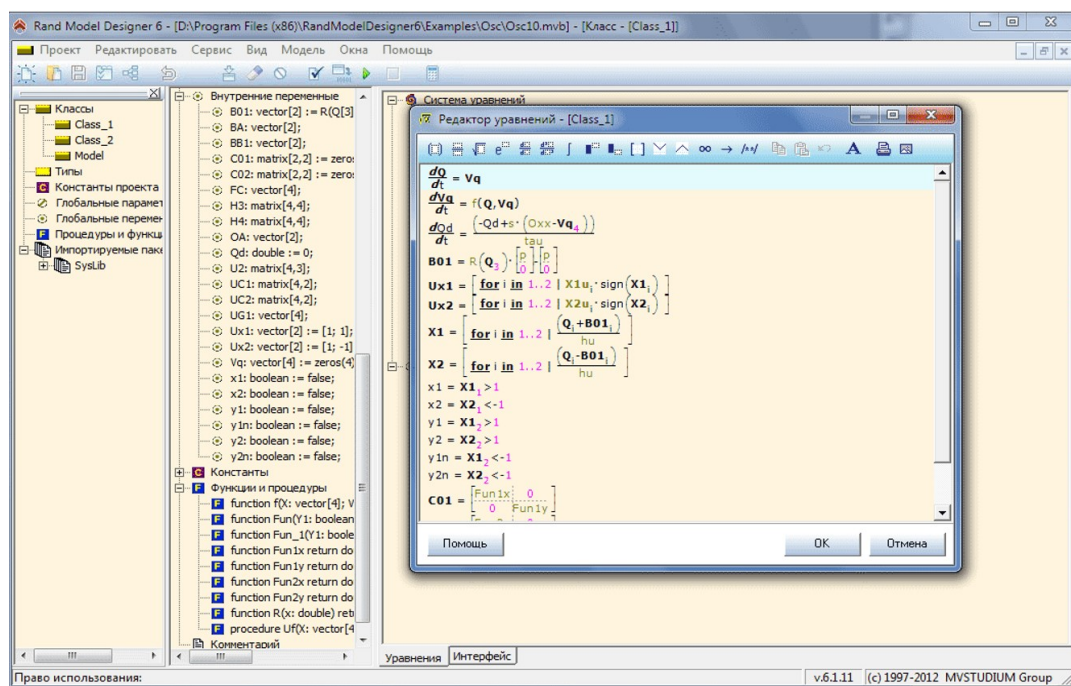


Рис. 4. Примеры реализации моделей в среде Rand Model Designer [13] (начало)

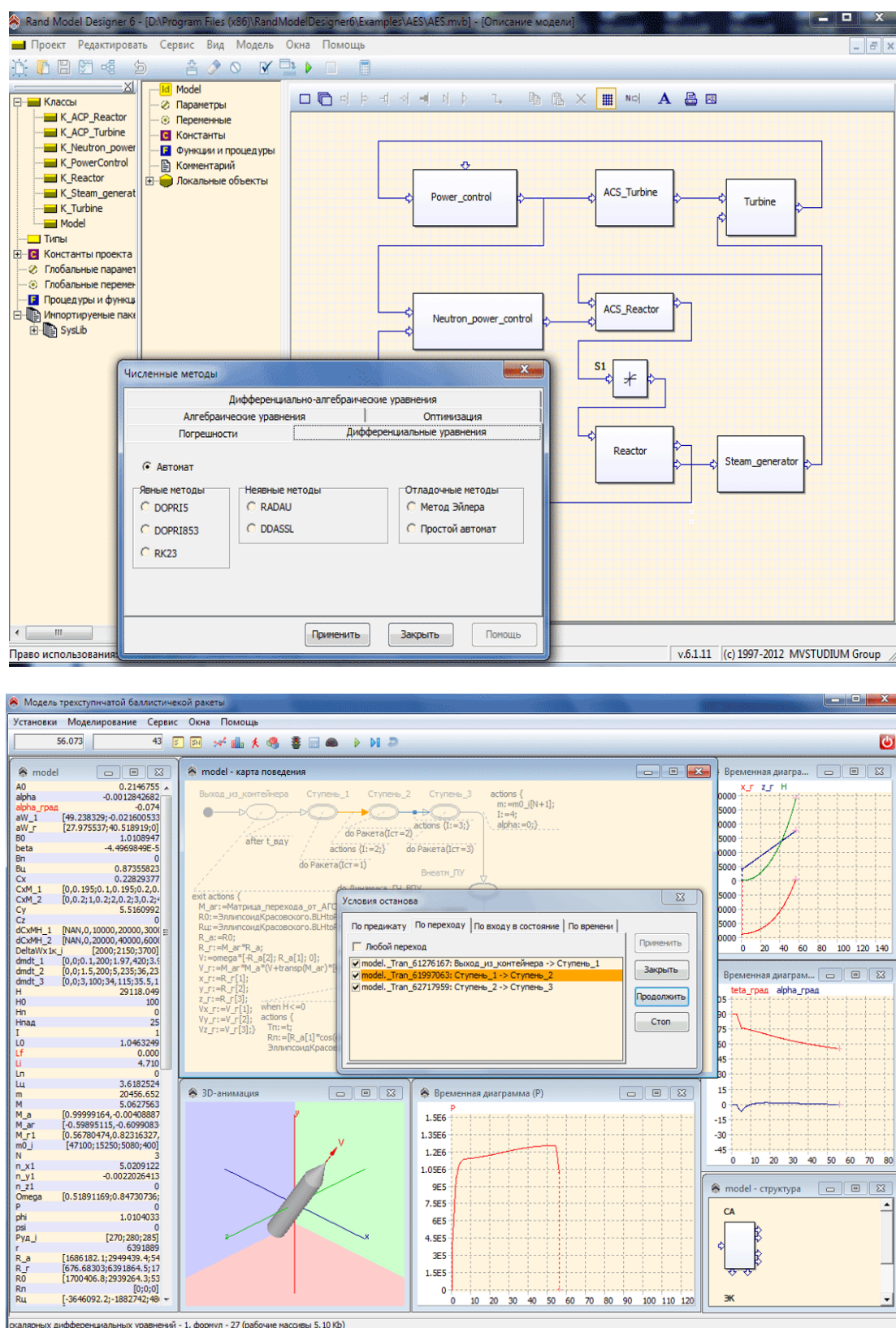


Рис. 4. Примеры реализации моделей в среде Rand Model Designer [13] (окончание)

Сравнение средств разработки имитационных моделей

	Подход к моделированию	Визуализация результатов моделирования (в виде графиков, таблиц, анимации)	Выгрузка / загрузка данных во внешнее приложение	Возможность использования пользовательских функций	Возможность создания исполняемого файла для просмотра работы модели независимо от установки среды разработки
Actor Pilgrim	Дискретно-событийное, агентное (акторное имитационное моделирование)	+	-	+	-
Imitak	Системная динамика, дискретно-событийное	+	-	-	-
GPSS STUDIO	Дискретно-событийное	+	+	+	+
iWebsim	Системная динамика, дискретно-событийное, агентное моделирование	+	Неизвестно	+	Является веб-приложением
Rand Model Designer	Абстрактно-математическое описание непрерывных и дискретных динамических систем	+	-	+	+

Список источников

1. Емельянов А. А., Емельянова Н. З. Имитационное моделирование и компьютерный анализ экономических процессов: учеб. пособие. Смоленск: Издательство «Универсум», 2013. 266 с.
2. Система Actor Pilgrim. URL: <http://simulation.su/static/actor-pilgrim-full-info.html> (дата обращения: 22.09.2022).
3. Интегрированная система моделирования Actor Pilgrim. URL: <https://pilgrim.mpei.ru/software/Pages/default.aspx> (дата обращения: 22.09.2022).
4. Максимов К. М. Краткий обзор системы моделирования Visual Imitak // Материалы Второй всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности ИММОД-2005. СПб., 2005. С. 233–237.
5. Максимов К. М., Максимов В. М. Практика применения системы имитационного моделирования Imitak Project // Имитационное моделирование. Теория и практика: сб. докл. третьей всерос. науч.-практич. конф. ИММОД-2007. Т. 1. СПб.: ФГУП ЦНИИТС, 2007. С. 287–290.
6. Программное обеспечение в ГУУ. URL: <http://guusoft.narod.ru/index.htm> (дата обращения: 28.09.2022).
7. ALINA GPSS. URL: https://reestr.digital.gov.ru/reestr/305965/?sphrase_id=2009140 (дата обращения: 28.09.2022).
8. О ALINA GPSS (GPSS Studio). URL: http://elina-computer.ru/static/about_gpss_studio.html (дата обращения 28.09.2022).
9. Балухто А. Н., Соколов Б. В. IWEBSIM — современная веб-технология в области комплексного моделирования сложных динамических систем // Имитационное моделирование. Теория и практика: восьмая Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности (Санкт-Петербург, 18–20 октября 2017 г.). СПб.: НП «НОИМ», 2017. С. 8–17.
10. Балухто А. Н., Соколов Б. В., Карсаев О. В. Облачная платформа IWEBSIM как средство имитационного моделирования космических систем // Десятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2021): Труды конференции (электронное издание) (СПб., 20–22 октября 2021 г.) / ред. Плутников А. М., Долматов М. А., Смирнова Е. П. СПб.: АО «Центр технологии судостроения и судоремонта», 2021. С. 95–104.
11. Веб-приложение iWebsim 2.0. URL: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/304375/> (дата обращения: 28.09.2022).
12. AnyDynamics — имитационное моделирование сложных динамических систем. URL: <https://www.mvstudium.com/intro.htm> (дата обращения: 28.09.2022).
13. Rand Model Designer. URL: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/302359/> (дата обращения: 28.09.2022).

References

1. Emelyanov A. A., Emelyanova N. Z. *Imitacionnoe modelirovanie i komp'yuternyj analiz ekonomicheskikh processov* [Simulation modeling and computer analysis of economic processes]. Smolensk, Izdatel'stvo "Universum", 2013, 266 p. (In Russ.).
2. Sistema Actor Pilgrim [System Actor Pilgrim]. (In Russ.). Available at: <http://simulation.su/static/actor-pilgrim-full-info.html> (accessed 22.09.2022).
3. Integrirrovannaya sistema modelirovaniya Actor Pilgrim [Actor Pilgrim Integrated Modeling System]. (In Russ.). Available at: <https://pilgrim.mpei.ru/software/Pages/default.aspx> (accessed 22.09.2022).
4. Maksimov K. M. Kratkij obzor sistemy modelirovaniya Visual Imitak [A brief overview of the Visual Imitak modeling system]. *Materialy Vtoroj vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii po imitacionnomu modelirovaniyu i ego primeneniyu v nauke i promyshlennosti IMMOD-2005* [Proceedings of the Second All-Russian Scientific and Practical Conference on Simulation Modeling and its Application in Science and Industry IMMOD-2005]. Saint Petersburg, 2005, pp. 233–237. (In Russ.).

5. Maksimov K. M., Maksimov V. M. Praktika primeneniya sistemy imitacionnogo modelirovaniya Imitak Project [The practice of using the Imitak Project simulation system]. *Imitacionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika: Sbornik dokladov tret'ej vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii IMMOD-2007* [Simulation modeling. Theory and practice: Collection of reports of the Third All-Russian Scientific and Practical Conference IMMOD-2007]. Vol. 1. Saint Petersburg, FSUE TSNIIS, 2007, pp. 287–290. (In Russ.).
6. Programmnoe obespechenie v GUU [Software in GUU]. (In Russ.). Available at: <http://guusoft.narod.ru/index.htm> (accessed 28.09.2022).
7. ALINA GPSS. (In Russ.). Available at: https://reestr.digital.gov.ru/reestr/305965/?sphrase_id=2009140 (accessed 28.09.2022).
8. O ALINA GPSS (GPSS Studio) [About ALINA GPSS (GPSS Studio)]. (In Russ.). Available at: http://elina-computer.ru/static/about_gpss_studio.html (accessed 28.09.2022).
9. Baluhto A. N., Sokolov B. V. IWEBSIM — sovremennaya veb-tehnologiya v oblasti kompleksnogo modelirovaniya slozhnyh dinamicheskikh sistem [IWEBSIM is a modern web technology in the field of complex modeling of complex dynamic systems]. *Imitacionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika: vos'maya Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya po imitacionnomu modelirovaniyu i ego primeneniyu v nauke i promyshlennosti (Sankt-Peterburg, 18–20 oktyabrya 2017 g.)* [Simulation modeling. Theory and Practice: the Eighth All-Russian Scientific and Practical Conference on Simulation Modeling and its Application in Science and Industry]. Saint Petersburg, NP “NOIM”, 2017, pp. 8–17. (In Russ.).
10. Baluhto A. N., Sokolov B. V., Karsaev O. V. Oblachnaya platforma IWEBSIM kak sredstvo imitacionnogo modelirovaniya kosmicheskikh sistem [IWEBSIM cloud platform as a means of space systems simulation]. *Desyataya vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya po imitacionnomu modelirovaniyu i ego primeneniyu v nauke i promyshlennosti “Imitacionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika” (IMMOD-2021): Trudy konferencii (elektronnoe izdanie)* [The tenth All-Russian Scientific and practical conference on simulation modeling and its application in science and industry “Simulation modeling. Theory and Practice” (IMMOD-2021): Proceedings of the conference (electronic edition)]. Saint Petersburg, AO “Centr tekhnologii sudostroeniya i sudoremonta”, 2021, pp. 95–104. (In Russ.).
11. Veb-prilozhenie iWebsim 2.0 [iWebsim 2.0 Web Application]. (In Russ.). Available at: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/304375/> (accessed 28.09.2022).
12. AnyDynamics — imitacionnoe modelirovanie slozhnyh dinamicheskikh sistem [Any Dynamics — simulation of complex dynamic systems]. (In Russ.). Available at: <https://www.mvstudium.com/intro.htm> (accessed 28.09.2022).
13. Rand Model Designer. (In Russ.). Available at: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/302359/> (accessed 28.09.2022).

Информация об авторах

С. Н. Малыгина — кандидат технических наук, научный сотрудник, доцент кафедры информатики и вычислительной техники;

Е. О. Неупокоева — стажер-исследователь.

Information about the authors

S. N. Malygina — PhD (Engineering), Researcher, Associate Professor of IT and Computing Tools Department;

E. O. Neupokoeva — Intern Researcher.

Статья поступила в редакцию 15.10.2022; одобрена после рецензирования 11.11.2022; принята к публикации 18.11.2022.
The article was submitted 15.10.2022; approved after reviewing 11.11.2022; accepted for publication 18.11.2022.