

УДК: 623.4.01

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_75

**ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К МОДУЛЯМ
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «ДВОЙНИК-МУЗР»
REQUIREMENT'S JUSTIFICATION TO THE SIMULATION MODULES
OF PROGRAM-METHODICAL PACKAGE «DUPLICATE-MUZR»**

По представлению академика РАН И.М. Смирнова

И.В. Спири

АО «НИИИ»

I.V. Spirin

Кратко излагаются предназначение, состав и уровни встроенной связанности модулей программно-методического комплекса «Двойник-МУЗР». На основании классификации и обобщения функционально-приемлемых возможностей программного обеспечения специального назначения описываются в порядке приоритетности требования к модулям имитационного моделирования. Приводятся варианты уточнения понятий и классификаций, относящихся к имитационным моделям. Варианты приемлемой реализации требований, определяющих облик модулей имитационного моделирования, подтверждаются моделями-примерами из различных программ, а также выявленными особенностями их создания.

Ключевые слова: SIMULATION SOFTWARE, FREE SOFTWARE, имитационное моделирование, программно-методический комплекс.

In this article are shortly described intended use, composition and level of incorporated connexity of modules of program-methodical package «Duplicate-Muzr». Here are described as prioritized requirements to the simulation modules based on the classification and generalization of functional reasonable opportunities of software special purpose. They presented update concepts and classifications which belong to simulation models. Analogues of acceptable requirement's realization, which specify module's image, are confirmed by example modules from various programs as well as ascertained particularities of their creation.

Keywords: SIMULATION SOFTWARE, FREE SOFTWARE, simulation, program-methodical package.

В 2021 году начата очередная работа серии «Двойник», направленная на развитие отечественных технологий компьютерного моделирования в интересах отрасли боеприпасов и спецхимии, а конкретно — удлиненных зарядов разминирования модульной конструкции (МУЗР).

Главным исполнителем НИОКР «Двойник-МУЗР» является одна из ведущих в об-

ласти моделирования российских организаций ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». Финансирование осуществляется по субсидиальной схеме Минпромторгом РФ. Основным планируемым результатом работы является конкурентоспособный, верифицированный, соответствующий принципам функционирования удлиненного заряда, а также гостированной этапности

разработки и квалификации конструкторского коллектива, программно-методический комплекс (ПМК).

В пределах работ серии «Двойник» основным содержанием аббревиатуры ПМК считается совокупность комплектов программного обеспечения, развернутого в клиент-серверной или терминальной сети с достаточными вычислительными мощностями, методик его применения в процессе моделирования и коллектива операторов-расчетчиков, освоивших перечисленные элементы.

Фактически ПМК является высокотехнологичным инструментом предиктивной аналитики и средой существования виртуальных прототипов образцов для разрабатываемых удлиненных зарядов разминирования, чем подтверждается актуальность статьи.

АО «НИИИ», являясь исполнителем составной части и одним из возможных эксплуатантов конечного продукта, обосновывает и согласовывает реализуемость требований к облику ПМК, формирует и наполняет верификационную базу, участвует в разработке методик, развертывании, освоении и испытаниях.

Имеющийся многократный положительный опыт распределения структурно-составных модулей ПМК по категориям инженерного анализа и имитационного моделирования определил реализацию такого подхода и в «Двойник-МУЗР».

Именно в процессе исследований с целью обоснования обликотных требований к имитационным модулям ПМК формировались материалы данной статьи.

Под имитационной моделью в пределах статьи понимается упрощенный до приемлемой адекватности аналог реального объекта (процесса, системы, ...), создаваемый средствами и функционирующий в среде специального программного обеспечения на компьютерах. То есть имитационная модель считается разновидностью компьютерной модели, относящейся также к математическим.

Гостированное определение имитационной модели устанавливает, что в ней формы и коэффициенты зависимости одних параметров модели от других находят путем многократного испытания с различными входными данными [1]. Место имитационных моделей в классификационной структуре компьютерных наглядно показано на рис. 1.

Одна из традиционных, не претендующая на безупречность классификация имитационных моделей на основании методов, положенных в их основу, имеет следующий вид: статистические (в т.ч. вероятностные), агентные, когнитивные, ситуационные, экспертные, дискретно-событийные, системно-динамические.

При выборе, в качестве основы классификации отношения к учету времени, распределенный



Рис. 1. Классификация компьютерных моделей

список включает статические, квазистатические, динамические и комбинированные имитационные модели.

Вероятностные по методам Монте-Карло, дискретно-событийные, процессно-непрерывные эргодические имитационные модели являются достаточно распространенными примерами.

Для подтверждения различных подходов к классификации имитационных моделей, не имеющих решающего значения в пределах темы статьи, на рис. 2 приводится еще один вариант, имеющий право на существование.

Ориентированный на предмет статьи поиск позволил обнаружить более 100 программных продуктов, реализующих различные подходы к имитационному моделированию. Проецирование на ПМК требований, сформированных на такой широкой выборке, избыточно по трудоемкости и спорно по содержательности.

Поэтому, для обоснования требований к имитационной составляющей ПМК, количество рассматриваемых программ уменьшалось по единственному признаку — применимость к моделированию этапов разработки и функционирования удлинённых зарядов разминирования.

Дальнейшее сокращение перечня до размеров, приемлемых в статье, осуществлялось по следующим принципам:

- отсутствие санкционных ограничений на распространение программы в ОПК РФ;
- предпочтения в порядке приоритетности отечественным, бесплатным, многофункциональным, интерфейсным, распространенным, объектно-программируемым продуктам;
- наличие подробных структурно-методических и обучающих материалов на русском языке.

Краткие описания имитационно-моделирующих возможностей и некоторые характеристики сокращенного перечня программ приведены в таблице.

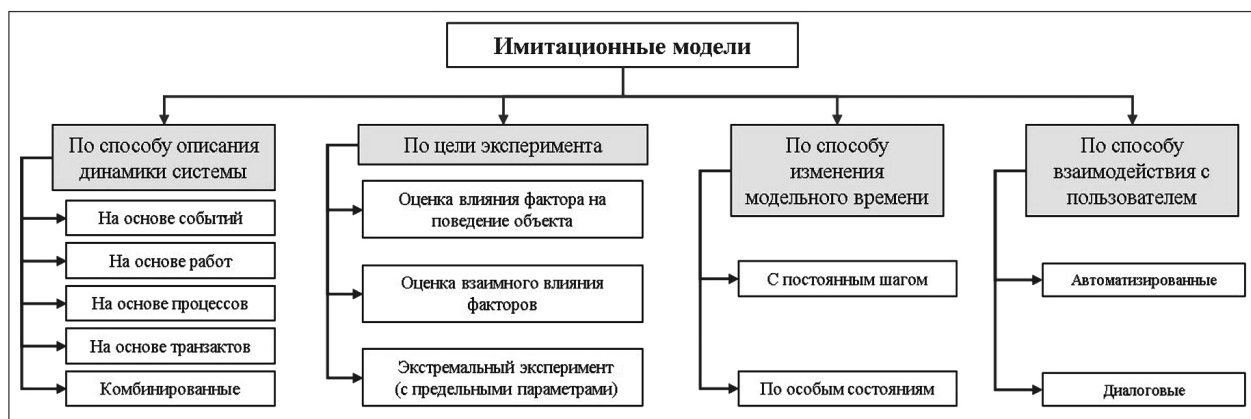


Рис. 2. Классификация имитационных моделей (вариант)

Таблица

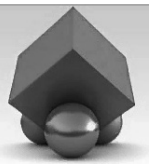
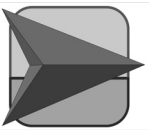
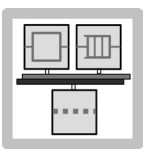
Характеристики программ

№	Название	Логотип	Разработчик	Описание	Лицензия
1	Aivika [2]		Сорокин Д.Э., Россия	Платформа, состоящая из программных библиотек для имитационного, вложенного и параллельного распределенного моделирования	BSD3
2	AnyLogic [3]		Компания AnyLogic, США	Универсальная платформа для процессно-ориентированного системно-динамического, агентного, дискретно-событийного или комбинированного моделирования	Проприетарная

Продолжение таблицы

№	Название	Логотип	Разработчик	Описание	Лицензия
3	Arena [4]		Rockwell Automation Inc., Wexford, США	Программа для моделирования дискретных событий и непрерывных процессов с целью внедрения средств автоматизации	Проприетарная
4	DESMO-J [5]		Гамбургский университет, Германия	Платформа для моделирования дискретных событий на Java, поддерживающая гибридные модели событий и обеспечивающая анимацию в 2D и 3D	Apache 2.0
5	Facsimile [6]		Интернациональный коллектив около 150 чел.	Библиотека для создания дискретно-событийных моделей в инженерии и промышленности на платформах — Windows, Linux, Mac OS X, BSD, Unix	LGPLv3
6	Galatea [7]		Centre for Simulation and Modelling, университет Анд, Венесуэла	Платформа, ориентированная на мультиагентное, распределенное, интерактивное моделирование. Имеется инструментарий для описания непрерывных процессов и дискретных событий	GPL 2.0
7	GPSS World Imp [8]		ООО «Элина-компьютер», Казань, Россия	Расширенный редактор для языка GPSS — универсальная система имитационного моделирования, охватывающая весь цикл, от постановки задачи до документирования результатов. Возможна организация облачного моделирования	Проприетарная, студенческая
8	iWebsim [9]		ООО «НПЦ «Интелком», г. Королев, Россия	Веб-приложение для имитационного моделирования динамических систем	Для физ. лиц — GPL, для юр. лиц — разные
9	MaDKit [10]		Gutknecht Olivier, Ferber Jacques, Michel Fabien; Франция	Мультиагентная платформа разработки имитационных моделей на Java	Apache 2.0
10	MTSS [11]		Рудометов С.В., КТИ ВТ СО РАН, Россия	Среда имитационного моделирования для задач проектирования, разработки, оптимизации технических систем и технологических процессов, информационных и управляющих систем в различных областях	СО РАН

Продолжение таблицы

№	Название	Логотип	Разработчик	Описание	Лицензия
11	Mv Studium [12]		Колесов Ю.Б. (Москва), Ини-хов Д.Б, Сениченков Ю.Б. (г. С.-Петербург), Россия	Среда визуального интерактивного многокомпонентного непрерывного, дискретного и гибридного моделирования сложных динамических систем	Проприетарная
12	NetLogo [13]		Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, США	Среда для мультиагентного моделирования ситуаций и феноменов, происходящих в сложных, развивающихся во времени системах	GPL 2.0
13	Object GPSS [14]		Королев А.Г., Северодонецкий Технологический институт, Украина	Инструментальное средство для написания моделей в стиле GPSS непосредственно на языке Delphi (Object Pascal)	Проприетарная
14	OpenGPSS [15]	нет	Киевский центр моделирования, Украина	Клон GPSS с собственным интерфейсом и набором готовых модулей	GPL 2.1
15	OpenMVLShell [16]	нет	Исаков А.А., Сениченков Ю.Б., г. С.-Петербург, Россия	Открытая среда для моделирования сложных динамических систем (аналогичная OpenModelica)	GPL 2.1
16	Renque [17]		RND Technology Consultants, Renque software development, Голландия	Среда дискретно-событийного моделирования в графической объектно-ориентированной оболочке	Проприетарная
17	SimInTech [18]		ООО «ЗВ Сервис», г. Москва, Россия.	Программный комплекс «МВТУ» (SimInTech) предназначен для исследования динамики и проектирования разнообразных систем и устройств. Является альтернативой Simulink, VisSim	Проприетарная, студенческая
18	Simkit [19]		U.S. Naval Postgraduate School, США	Библиотека для разработки дискретно-событийных моделей на языке Java. Приспособлена для решения задач военного характера	Apache 2.0
19	Simplex3 [20]		Коллектив частных лиц, г. Ахен, Германия	Среда дискретного моделирования, отличающаяся расширенной универсальностью применения при обучении и исследованиях	Apache 2.0
20	SimPy [21]		Klaus G. Müller и др., Массачусетский технологический институт, г. Бостон, США	Пакет для дискретно-событийного, асинхронно-сетевого или мультиагентного моделирования, основанный на стандартном языке Python. Открытый исходный код	MIT

Продолжение таблицы

№	Название	Логотип	Разработчик	Описание	Лицензия
21	SIMSCRIPT III [22]	нет	CACI Advanced Simulation Lab, г. Сан-Диего, Канада	Подобный английскому язык и инструмент для дискретно-событийного и гибридного моделирования. Открытый исходный код	GPL 3.0
22	SimWiz [23]		Cohen M. A., США	Программа для определения, валидации, управления и выполнения дискретно-событийных моделей	LGPL
23	True-World [24]		True-System-Dynamics, г. Страсбург, Франция	Среда моделирования, анализа и оптимизации динамических систем	GPL 3.0
24	UML2 SP [25]		Гурьянов В.И., Филиал С.-Петербургского ГЭУ, г. Чебоксары, Россия	Язык объектно-ориентированного имитационного моделирования. Позиционируется как язык научного имитационного моделирования. Доступен в открытом коде на сервисе GitHub	GPL 2.1
25	СМО [26]	нет	Науменко В.А., г. Москва, Россия	Визуальная среда для моделирования систем массового обслуживания (СМО). Позволяет создавать GPSS-модели	LGPL

Анализ содержания таблицы позволяет сформировать следующие выводы:

- отсутствуют ограничения для реализации в имитационных модулях ПМК агентных, вероятностных, системно-динамических, дискретно-событийных, непрерывных и квазинепрерывных процессных и др. типов моделей;

- значимое количество программ, разработанных единолично или малыми коллективами подтверждает широкое распространение и глубокую освоенность методов и методик моделирования, а также доступность открытого кода для реализации в ПМК;

- подавляющее большинство программ являются частично унифицированными по поддерживаемым методам моделирования.

Для подтверждения обоснованности выводов по таблице приведены следующие примеры имитационно-моделирующих постановок задач.

Математический аппарат, описывающий системы массового обслуживания (СМО), становится корректно применимым в случае представления системы разминирования в качестве обслуживающего процесса с параметрами вре-

мени и пропускной способности, а необходимых в прodelывании проходов в минных полях — клиентами в очереди.

Канальность СМО определяется количеством применяемых установок разминирования, а проходы, прodelывание которых потеряло актуальность из-за изменения элементов обстановки являются «нервными клиентами», покинувшими очередь на обслуживание.

На основании модели СМО могут определяться рациональные параметры боевой производительности установок разминирования во времени (количество УЗР и двигателей, периодичность обмена данными автоматизированных систем управления и др.).

Вероятностная модель процесса разминирования взрывом может корректно использоваться в случае учета всего исчерпывающего перечня исходов эксперимента, приводящих мину в нефункциональное состояние, то есть формирующих проход.

Таковыми исходами могут быть: детонация устройства инициации или непосредственно взрывчатого вещества (ВВ) мины, выброс мины за пределы прохода, срабатывание

взрывательного устройства мины от воздействия давления или импульса при прохождении ударной волны и др.

Каждому из этих исходов может быть сопоставлен закон распределения вероятности, которые в совокупности с предельными теоремами (П.Л. Чебышева, Я. Бернулли, С.Д. Пуассона) или другими обобщающими закономерностями сформируют методический аппарат модели.

В условиях примера вероятностного моделирования полученные результаты по разминированию могут быть проецированы на параметры УЗР, то есть осуществлен обоснованный выбор одного из нескольких вариантов конструкции.

Непрерывно-динамические траекторные имитационные модели уместны на этапах выборки УЗР из контейнера установки разминирования. Элементами динамической системы в этом случае выступают составные части конструкции, а результатами моделирования являются параметры их траекторий.

Кинематическое имитационное моделирование механизмов приведения пусковой установки в боевое положение позволит определять их работоспособность в различных условиях и рациональные параметры конструкции.

Решение о программной реализации в имитационных модулях ПМК «Двойник-МУЗР» доступных методических подходов и инструментов с открытым исходным кодом, приведенных в таблице, относится к компетенции головного исполнителя работы ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ».

Однако интерфейсное исполнение модулей имитационного моделирования ПМК, должно также соответствовать наиболее эффективным и удобным образцам-конкурентам, так как непосредственно влияет на скорость и качество работы оператора.

Обобщение исследованных подходов к интерфейсу программного обеспечения, предназначенного для имитационного моделирования, позволяет сформулировать следующие требования, целесообразные к реализации в модулях ПМК «Двойник-МУЗР»:

- распределение элементов управления в единой естественной последовательности использования сверху-вниз и слева-направо для всех типовых операций (например, ввод исход-

ных данных, выбор вариантов и сценария имитационного моделирования, проведение вычислений, визуализация и аналитическая обработка результатов, сохранение и экспорт данных для отчетной документации);

- обеспечение преемственности и традиционности элементов управления с предыдущими версиями ПМК («Двойник-ПС», «Двойник-КС») или программами-аналогами, включая сохранение систем обозначений и терминологии, используемых в предметной области (например, поведенческая модель, параметры среды, тактическая единица, тактическая ситуация, сценарий моделирования, клавиша «Enter» — выполнить, клавиша «Esc» — прекратить, клавиши «Alt+Tab» — переключить окно, клавиша «F1» — открыть справку, клавиши «Ctrl+C» — копировать выделенное, клавиша «Ctrl» + вращение колеса «мыши» — изменение масштаба, передвижение «мыши» с зажатым «колесом» — свободное вращение представления модели по всем осям и др.);

- полнофункциональная трехканальная доступность (из меню, с ленты инструментов и из контекстного меню) для всех основных элементов управления с обеспечением предпочтения визуально-текстовым объектам (кнопка с подписью);

- реализация по возможности правила «шести» — в одну линейку меню включать не более 6 понятий, каждое из которых содержит не более 6 опций;

- содержание в активном режиме только тех элементов, которые позволяют отдать управляющие команды для текущего состояния (пока что-нибудь не выделено — пункт или кнопка «копировать» не активна и пр.) или допустимость освоения программы пользователем путем реализации метода «проб и ошибок»;

- избыточность, которая означает, что пользователь должен вводить только минимально потребную информацию для управления (например — недопустима потребность ввода незначимых «0» после разделителя целой и дробной части чисел или повторного ввода тех данных, которые уже вводились ранее, традиционным считается использование обновляемых значений по умолчанию);

- как можно более раннее привлечение к тестированию ПМК специалистов, которым предстоит его эксплуатация;

- непосредственность помощи, выражающаяся в обеспечении необходимыми инструкциями (подсказками), возможности повышения детализации пояснений путем перехода в полноформатную справочную (обучающую) систему;

- гибкость (адаптивность) настроек интерфейса;

- реализация лозунга «пользователь управляет программой, а не программа управляет пользователем».

Качество интерфейса, в т.ч. и для имитационных модулей ПМК, определяется [27] как «Объем признаков и характеристик продукции или услуги, который относится к их способности удовлетворять установленным или предполагаемым потребностям».

Качество интерфейса сложно оценить количественными характеристиками, однако более или менее объективную оценку можно получить на основе приведенных частных показателей:

- время, необходимое пользователю для достижения начального уровня освоения модуля по специальности (конструктор — инженерный модуль, научный сотрудник — имитационный модуль);

- период сохранения полученных навыков (например, после недельного перерыва пользователь должен выполнить определенную последовательность операций без снижения скорости);

- скорость решения задачи (оценивается не производительность компьютера, а время, необходимое для формализованной постановки и обработки результатов решения для достижения цели);

- субъективная удовлетворенность пользователя ПМК.

Таким образом, исследование возможностей и особенностей эксплуатации программного обеспечения, предназначенного для моделирования, позволила в достаточной степени обосновать требования к имитационным модулям из состава ПМК «Двойник-МУЗР», в чем и заключается практическая значимость статьи.

Централизованное развитие и расширенное распространение по отраслям промышленности отечественных технологий компьютерного моделирования не будет ограничено работами серии «Двойник». Имеется насущ-

ная потребность интеграции лучших из имеющихся достижений в расширяемую адаптивную национальную программную платформу имитационного моделирования.

Литература

1. ГОСТ Р 57412-2017 Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. М.: Стандартинформ, 2018. 15 с.

2. Официальный сайт «Aivika» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aivikasoftware.com/ru/products/aivika.html> (дата обращения: 30.08.2021).

3. Официальный сайт «Anylogic» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.anylogic.ru> (дата обращения: 30.08.2021).

4. Официальный сайт «Arenasimulation» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.arena-simulation.com> (дата обращения: 30.08.2021).

5. Официальный сайт Гамбургского университета [Электронный ресурс]. URL: <http://desmoj.sourceforge.net> (дата обращения: 30.08.2021).

6. Официальный сайт «Facsimile» [Электронный ресурс]. URL: <http://facsim.org> (дата обращения: 30.08.2021).

7. Официальный сайт «Centre for Simulation and Modelling» [Электронный ресурс]. URL: <http://galatea.sourceforge.net/Home.htm> (дата обращения: 30.08.2021).

8. Официальный сайт ООО «Элина-компьютер» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.elina-computer.ru> (дата обращения: 30.08.2021).

9. Официальный сайт ООО «НПЦ «Интелком» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iwebsim.ru> (дата обращения: 30.08.2021).

10. Официальный сайт «MaDKit» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.madkit.org> (дата обращения: 30.08.2021).

11. Официальный сайт «Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.coal.sbras.ru>. Регистрационный номер в ФАП: PR11050. Дата регистрации в ФАП: 2011-10-28 (дата обращения: 30.08.2021).

12. Официальный сайт «MvStadium» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mvstadium.com> (дата обращения: 30.08.2021).

13. Официальный сайт «Northwestern University's Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling» [Электронный ресурс]. URL: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo> (дата обращения: 30.08.2021).

14. Официальный сайт «GPSS» [Электронный ресурс]. URL: <http://objectgpss.narod.ru> (дата обращения: 30.08.2021).

15. Официальный сайт «Open-simulation» [Электронный ресурс]. URL: <http://simulation.kiev.ua> (дата обращения: 30.08.2021).

16. Официальный сайт «OpenMVLShell» [Электронный ресурс]. URL: <https://dcn.ftk.spbstu.ru> (дата обращения: 30.08.2021).

17. Официальный сайт «Renque software development» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.renque.com> (дата обращения: 30.08.2021).

18. Официальный сайт ООО «ЗВ Сервис» [Электронный ресурс]. URL: <http://zv-services.com> (дата обращения: 30.08.2021).

19. Официальный сайт «U.S. Naval Postgraduate School» [Электронный ресурс]. URL: <http://diana.nps.edu/Simkit> (дата обращения: 30.08.2021).

20. Официальный сайт «Simplex3» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.simplex3.net> (дата обращения: 30.08.2021).

21. Официальный сайт «SimPy» [Электронный ресурс]. URL: <http://simpy.readthedocs.org/en/latest> (дата обращения: 30.08.2021).

22. Официальный сайт «CACI Advanced Simulation Lab» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.simscrip.com> (дата обращения: 30.08.2021).

23. Официальный сайт «Simulation Wizard» [Электронный ресурс]. URL: <https://simwiz.soft112.com/thank-you.html> (дата обращения: 30.08.2021).

24. Официальный сайт «True-System-Dynamics» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.true-world.com> (дата обращения: 30.08.2021).

25. Официальный сайт «UML2 SP» [Электронный ресурс]. URL: <https://vgurianov.github.io/uml-sp> (дата обращения: 30.08.2021).

26. Официальный сайт «Моделирование СМО» [Электронный ресурс]. URL: <http://modelsmo.narod.ru> (дата обращения: 30.08.2021).

27. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению. М.: Гостандарт России, 1994. 12 с.