

О. С. Исаева, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: isaeva@icm.krasn.ru,
Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук —
обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск

Технология построения комплексных моделей в инфраструктуре имитационного моделирования

Предложена технология построения комплексных имитационных моделей, позволяющая объединить модели, построенные по стандарту SMP2 (Simulation model portability), виртуальные приборы и логические модели, методы функционирования которых задаются в базах знаний. Технология основана на формализации моделей, содержащей структурно-параметрическое и функциональное представления. Она позволяет формировать семантические конструкции в терминах предметной области, что обеспечивает удобство построения моделей и наглядность представления моделируемой системы в целом. Технология апробирована в программном обеспечении, предназначенном для имитационного моделирования спутниковых систем.

Ключевые слова: космический аппарат, бортовая аппаратура, имитационное моделирование, стандарт Simulation model portability (SMP2), инфраструктура имитационного моделирования

Введение

Разработка сложных проектов в аэрокосмической отрасли предполагает обеспечение высокого уровня взаимодействия различных производителей. В случае европейских проектов кооперация основывается на стандартах Европейского космического агентства, которые задают требования к нормативным документам, информационным базам, программным компонентам для всех этапов жизненного цикла производства космической техники [1]. Стандарты определяют существенную роль моделирования при реализации космических проектов. Принципы имитационного моделирования технических объектов, состоящих из подсистем, изготавливаемых разными производителями, заложены в стандарте "Simulation Model Portability" (текущая редакция SMP2) [2]. Системы моделирования, реализующие стандарт SMP2, называют инфраструктурами имитационного моделирования (Simulation Infrastructure). Существует целый ряд инфраструктур моделирования, в их числе: SimSAT — Европейского космического агентства [3], SimTG — Astrium

Satellites [4], симулятор центра управления полетами SWARMSIM [5] и др.

Интеграция моделей и технологий, построенных на основе SMP2, выполняется в различных научно-исследовательских проектах. Примером успешного применения SMP2 является франко-германский проект разработки спутников дистанционного зондирования для мониторинга парникового газа — MERLIN [6]. Проект объединяет несколько компаний, в их числе: Airbus, CNES и Thales Alenia Space. Для реализации проекта выполнена интеграция имитационных моделей, разрабатываемых исследователями на четырех различных SMP2 платформах имитационного моделирования. Применение в данном проекте SMP2 позволило выполнить стандартизацию всех компонентов пространственной системы, сделать их более надежными, снизить затраты и оптимизировать график разработки. Положительный опыт подобных интеграций показывает актуальность и обоснованность ориентации программного обеспечения имитационного моделирования на стандарт SMP2.

В отличие от существующих решений, основанных на стандарте SMP2, для имитаци-

онного моделирования функционирования бортовой аппаратуры для предприятия-разработчика спутниковых систем потребовалось объединить в комплексной модели не только SMP2-модели различных производителей, но и логические модели, в основе которых лежат базы правил, а также виртуальные приборы, моделирующие физические свойства бортовой аппаратуры. Применение в комплексной модели логических подсистем и объединение их с другими моделями позволит обеспечить существенные преимущества для конструкторов бортовой аппаратуры на этапе проектирования и испытания бортовой аппаратуры.

Целью данной работы является создание технологии интеграции разнородных имитационных моделей, построенных на основе стандарта SMP, баз знаний и виртуальных приборов. Технология предназначена для построения комплексных имитационных моделей функционирования бортовых систем космического аппарата и может применяться для поддержки задач конструирования, подготовки и проведения испытаний и анализа результатов. В работе решены следующие задачи: определены функциональные задачи для построения комплексной модели бортового оборудования космических систем; предложено формальное представление комплексной имитационной модели; разработан алгоритм интеграции разнородных имитационных моделей; построены примеры комплексных моделей функционирования бортовой аппаратуры.

Реализация предложенных моделей и методов выполнена специалистами Института вычислительного моделирования СО РАН [7].

1. Задачи построения комплексной модели

Модели функционирования космических систем предназначены для имитации взаимодействия различных бортовых устройств, моделирования выполнения ими команд управления, формирования и анализа телеметрической информации и др. Способы реализации имитационных моделей и степень их детализации определяются спецификой решаемых задач. Часть моделей может быть представлена схематично, только на уровне логики функционирования, а другая часть может быть реализована более детально с учетом физических характеристик, свойств передаваемых сигналов, линий связи и пр. В качестве примера рассмотрим задачу моделирования внешнего командно-программного управления бортовыми системами. Такая модель применяется в наземных испытаниях бортовой аппаратуры. Элементы модели (рис. 1): БУ БКУ — бортовой комплекс управления; БЦВК — бортовой цифровой вычислительный комплекс; МИ КИС — интерфейсный модуль командно-измерительной системы космического аппарата; НКУ — наземный комплекс управления; КУ — команда управления, типы коммутационных интерфейсов: РЕЛ — релейный, 232 — RS-232, ИМП — импульсный, 422 — RS-422, ВЧ — высокочастотный интерфейс.

Имитатор наземного комплекса управления выполняет передачу команды в имитатор бортовой аппаратуры командно-измерительной системы космического аппарата, который анализирует полученную команду, при необходимости ее выполняет и формирует квитанцию

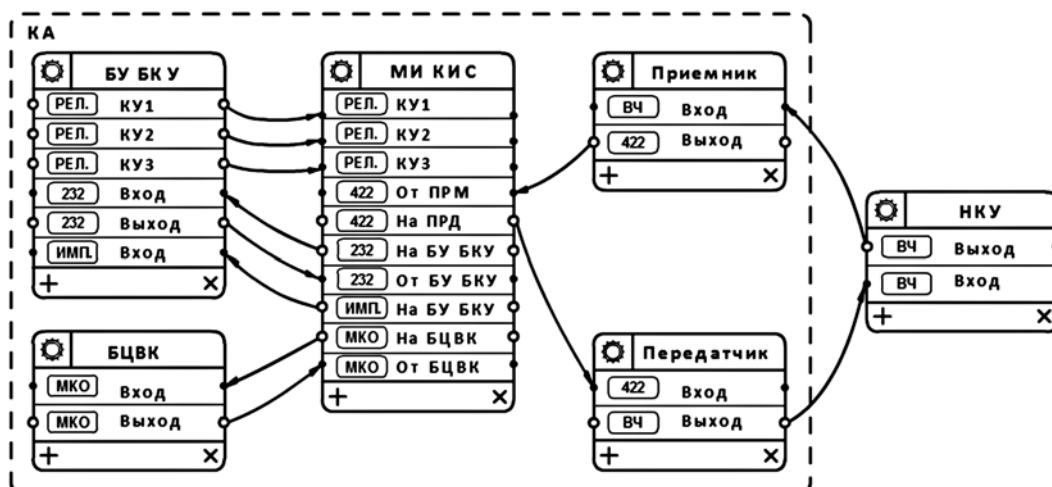


Рис. 1. Модель командно-программного управления бортовой аппаратурой

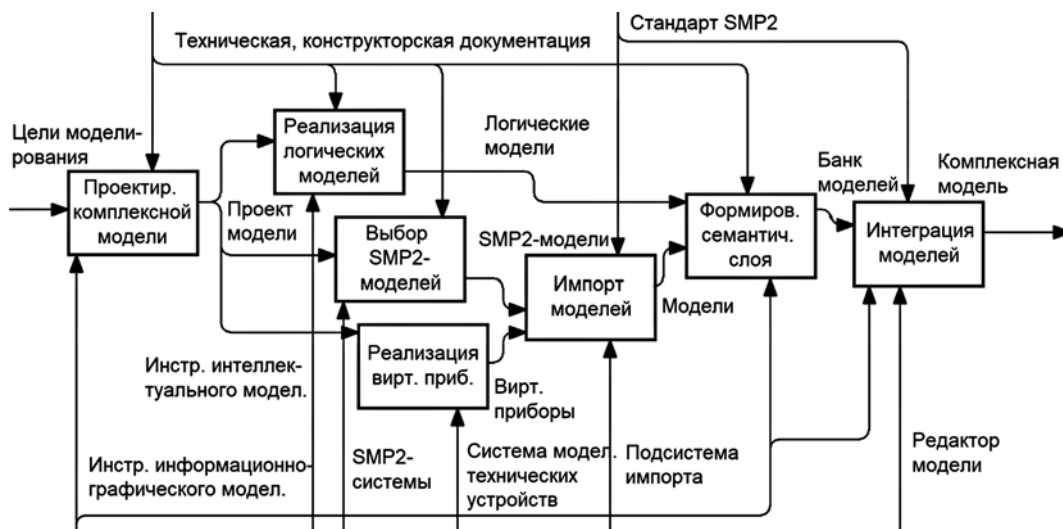


Рис. 2. Функциональные задачи построения комплексной модели

в телеметрии. Полученная бортовая команда передается в программный имитатор бортового комплекса управления, где она выполняется и по результатам формируется ответ в телеметрии. Телеметрия из бортовой аппаратуры телесигнализации передается в имитатор наземного комплекса управления, где выполняется ее анализ. На его основе делается вывод о прохождении и обработке команд, а также о состоянии бортовых систем.

Реализация элементов модели может быть выполнена в виде логических имитаторов бортовых систем и виртуальных проборов приемо-передающих устройств. Логические модели создаются на основе правил (condition-action rules) и описывают логику поведения оборудования для моделирования отработки команд и анализа их прохождения. Инструменты построения логических моделей описаны в работах [8, 9]. Виртуальные приборы создаются в среде Labview (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) [10] и предназначены для исследования приемо-передающего тракта моделируемой системы, оценки ошибок и потерь на тракте при различных заданных характеристиках устройств и внешних воздействиях.

Для построения комплексной модели требуется выполнить ее проектирование, реализацию отдельных моделей, импорт, формирование семантического слоя в терминах предметной области и интеграцию (рис. 2).

Проектирование комплексной модели выполняется на основе анализа целей и задач моделирования и включает графическое постро-

ение структуры модели, определение свойств ее элементов и интерфейсов информационного взаимодействия. Для каждой модели создаются семантические конструкции, позволяющие оперировать функциями и свойствами моделей в терминах предметной области. Интеграция моделей объединяет различные подмодели в комплексное решение. В основе технологии построения комплексной модели лежит унифицированное формальное представление, состоящее из структурно-параметрического и функционального описаний.

2. Формальное представление комплексной модели

Комплексная модель M представляется в виде: $M = \langle S, F, T \rangle$, где S — структурно-параметрическое описание, F — функциональное описание, T — множество элементов управления временем моделирования.

Структурно-параметрическое описание комплексной модели представлено в виде: $S = \langle B, C, D \rangle$, где B — элементы модели, описывающие свойства или функции отдельных физических устройств, C — типизированные информационные зависимости, описывающие коммутационные соединения между устройствами, D — множество структур данных, содержит стандартные типы данных и дополнительные конструкции — пакеты телекоманд и телеметрии. Структурно-параметрическое описание формирует семантический уровень модели, позволяя интерпретировать

понятия предметной области в графические и программные структуры. Элементы имитационной модели $B_i \in B$ представляются в виде кортежей $B_i = \langle N_i, K_i, I_i, P_i \rangle$, где N_i — наименование i -го элемента модели; K_i — тип элемента; P_i — множество параметров; I_i — множество коммутационных интерфейсов: $I_i = \{I_{i1}, \dots, I_{in}\}$, где n — число точек входов и выходов B_i . Каждый интерфейс I_{in} множества I_i имеет характеристики: тип интерфейса $Tr(I_{in}) \subseteq \{RS-232, RS-422, SpaceWire, \text{импульсный}, \text{релейный}, \text{вч}, \text{питание}\}$; направленность передачи $Rt(I_{in}) \subseteq \{\text{Вход}, \text{Выход}\}$; признак состояния $Onf(I_{in}) \subseteq \{\text{Включен}, \text{Выключен}\}$. Введение характеристик коммутационных интерфейсов позволяет выполнять типизацию информационных зависимостей между элементами комплексной модели и применять единые правила обработки данных, передаваемых по однотипным интерфейсам. Коммутационные соединения элементов моделей задаются в множестве C типизированных информационных зависимостей. Элемент $C_{ij} \in C$ описывает свойства коммутационного соединения пары моделей B_i и B_j : $C_{ij} = \langle I_{in}, I_{jm}, \tau_{ij} \rangle$, где I_{in} — интерфейс B_i , I_{jm} — интерфейс B_j , τ_{ij} — время прохождения сигнала между интерфейсами B_i и B_j .

Функциональное описание F представляет различные реализации элементов моделируемых устройств. Функциональное описание задается в виде: $F = \{R, CPP, VI\}$, где R — множество правил базы знаний, CPP — программные библиотеки SMP2-моделей и VI — виртуальные приборы. $R = \{A \rightarrow Z\}$ — правила, описывающие логику работы модели; A — условие выполнения правила; Z — действия, изменяющие состояние модели, значения параметров или таймеров. Для формирования правил используются множества, заданные в структурно-параметрическом описании.

Множество элементов управления временем T предназначено для задания точек перехода между событиями модели: $T = \{Tt, Tf\}$, где Tt — таймеры, Tf — методы работы со службой единого времени. Способы реализации таймеров Tt определяются в каждой модели в зависимости от ее назначения. В моделях, реализованных в виде правил, таймеры задают время начала выполнения правила, длительность ожидания, время его повторения или окончания. Таймеры, как и другие виды переменных, участвуют в формировании правил. Для моделей, реализованных в виртуальных при-

борах, элементы времени предназначены для имитации задержек преобразования или передачи данных. Синхронизация таймеров выполняется через единую службу времени *Time Keeper*. Описание службы времени *Time Keeper* приведено в стандарте SMP2 [2]. Множество Tf определяет методы работы со службой синхронизации времени: "Get_Time" и "Set_Time". *Time Keeper* использует два основных типа времени: *Mission Time* (определяет время моделей, выполняющих одну задачу моделирования) и *Simulation Time* (время моделирования, которое прогрессирует только в имитационном окружении в состоянии выполнения). Для управления временем *Time Keeper* отсчитывает время, единое для всех моделей, и при его изменении создает события, на которые подписываются все модели. В некоторых случаях модель может сама установить значение времени в зависимости от того, сколько ей требуется для выполнения моделирования. В этом случае *Time Keeper* выполняет синхронизацию времени между остальными процессами. Если при достижении модельного времени не происходит планового окончания выполнения отдельного процесса, то время моделирования останавливается до его завершения.

Time Keeper поддерживает несколько режимов моделирования: *Real-Time* (реального времени), *Accelerated* (ускоренный), *Free Running* (режим выполнения так быстро, как это возможно), *Debugging* (пошаговый). Для повышения наглядности процесса моделирования используется режим *Accelerated*, который позволяет быстрые и медленные события размещать на одной временной шкале и выполнять их с удобной для восприятия скоростью. Шаг времени в этом случае рассчитывается с использованием коэффициента ускорения k , т. е. $t_i = t_{i-1} + k\Delta t$. Если $k < 1$, то выполнение модели ускоряется, если $k > 1$, то замедляется (рис. 3).

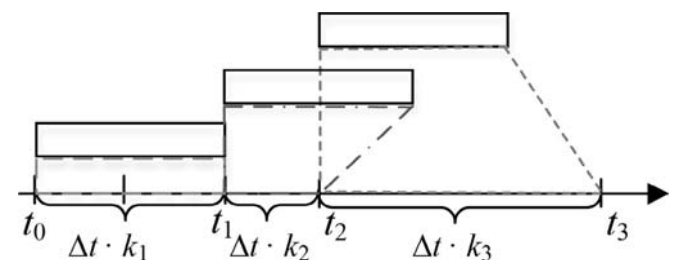


Рис. 3. Режим моделирования *Accelerated*, $k_1 = 1$, $k_2 < 1$, $k_3 > 1$

Не существует универсального подхода к организации взаимодействия моделей, для которых существенным является время протекания отдельных процессов. *Time Keeper* не всегда может решить задачу их синхронизации. Подготовка к моделированию в этом случае требует выявления критических циклов моделирования, возникающих из-за разницы во времени выполнения отдельных моделей. Для исключения ситуаций, когда одна модель может потребовать параметры, которые еще не были обновлены на предыдущем временном шаге, требуется уделить дополнительное внимание построению плана выполнения моделей.

3. Построение комплексных моделей

Реализация технологии построения комплексных моделей выполнена в системе имитационного моделирования, разработанной в ИВМ СО РАН [11]. Разработан алгоритм подготовки и интеграции разнородных имитационных моделей (рис. 4). Модели, вне зависимости от способа их реализации, импортируются в имитационную систему, в состав которой входит программный конструктор с инструментами информационно-графического моделирования. На этапе импорта моделей программное обеспечение автоматически определяет все элементы, которые может построить из представления модели.

При импорте автоматически строится множество S — структурно-параметрическое описание модели. В него входят B — блоки модели (элементы), параметры и таймеры. Инструмен-

ты информационно-графического моделирования на основе структурно-параметрического описания строят графические представления. Для каждого блока модели из импортируемых данных выделяют методы работы модели и формируют множества F функциональных представлений.

Далее формируется семантический слой модели. Он основан на формальном описании и позволяет привести различные реализации моделей к унифицированному виду, что, в свою очередь, обеспечивает возможность применения общих подходов к обработке и анализу однотипных элементов. Для моделей, реализованных в базе знаний $F = \{R\}$, семантический слой создан при построении модели и в имитационную среду загружается автоматически при импорте. Для остальных моделей $F = \{CPP, VI\}$ семантический слой формируется специалистом предметной области самостоятельно (полуавтоматически). Программное обеспечение анализирует множество S — структурно-параметрическое описание и формирует список входных и выходных параметров. Эти параметры загружаются в графическую модель формирования коммутационных интерфейсов I . Специалист выбирает в графическом редакторе характеристики интерфейсов: тип Tr , направленность передачи Rt , признак состояния Onf . После типизации интерфейсов программное обеспечение предоставляет дополнительные методы обработки данных по однотипным интерфейсам, которые не зависят от способа реализации модели. На рис. 5 (см. вторую сторону обложки) показан Конструктор модели, содержащий графические элементы импорта и формирования семантического слоя.

Если модель состоит из нескольких блоков, то специалист может сформировать множество C коммутационных соединений блоков моделей.

Логические модели в своем составе содержат структурно-параметрическое и функциональное описание. Методы функционирования логических моделей отображаются в редакторе (рис. 6, см. вторую сторону обложки). Для интеграции моделей и их переносимости выполняется генерация

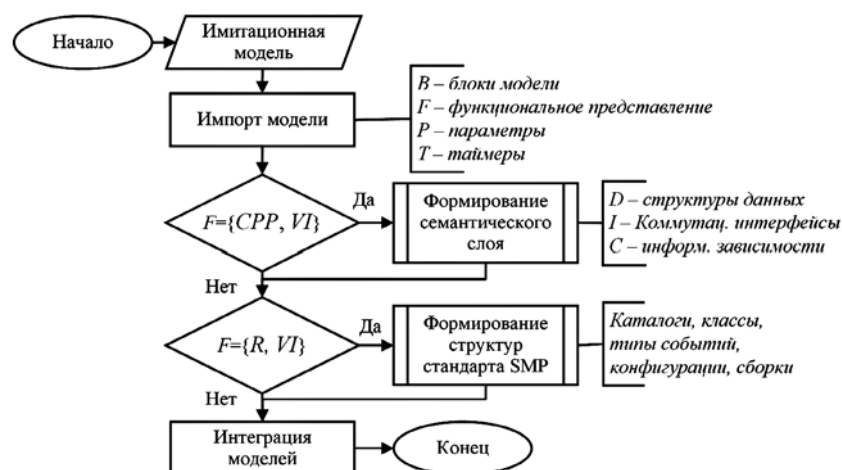


Рис. 4. Алгоритм интеграции разнородных имитационных моделей

структур, определенных в стандарте SMP2. Требования к структурам заданы в разделе 2а: *Meta-model* [12]. Создается набор каталогов, определяются классы, типы событий, задается конфигурация экземпляров, формируются сборки. Пользователь оперирует с ними с помощью заданных семантических конструкций.

Созданные структуры служат промежуточным звеном и обеспечивают вызов декларированных в модели функций путем передачи управления в библиотеку реализаций. После выполнения преобразований модели размещаются в банке моделей. В результате работы была построена комплексная модель командно-программного управления бортовой аппаратурой, фрагмент модели показан на рис. 7 (см. вторую сторону обложки).

Построение комплексной модели командно-программного управления позволило исследовать особенности функционирования бортовой аппаратуры, используя различные реализации отдельных подсистем и оперируя терминами и понятиями предметной области. Результаты имитационного моделирования отображаются в протоколе, который содержит источники и приемники данных, передаваемые пакеты, значения параметров и др. Фрагмент протокола имитационного моделирования приведен на рис. 8.

Заключение

Технология построения комплексных моделей обеспечивает взаимодействие разнородных имитационных моделей в единой среде моделирования. Расширение стандарта SMP2 семантическими конструкциями предметной области позволяет получать разнообразные и качественные решения, используя знания групп инженеров, имеющих большой опыт проектирования бортовой аппаратуры. Такой подход позволяет легко разбираться в устройстве как создаваемых конструктором собственных моделей, так и моделей, созданных другими специалистами, а также представлять моделируемую систему в целом.

Предложенная технология рассматривает три типа моделей: модели на основе правил,

Время начала передачи	Передающий интерфейс	Принимающий блок	Принимающий инт	Продолжительность пере...
Передающий блок: БУ БКУ				
00:00:01.1000000	КУ1 (Рел.)	МИ КИС	КУ1 (Рел.)	100
Длительность (мс): 100				
Напряжение (В): 5				
00:00:01.6600000	Выход (RS-232)	МИ КИС	От БУ БКУ (RS-232)	1
Передающий блок: МИ КИС				
00:00:01.6500000	На БУ БКУ (RS-232)	БУ БКУ	Вход (RS-232)	1
Поле данных сегмента - 64 07 F8				
Служебный байт - 64				
Прямой код РК - 07				
Инверсный код РК - F8				
Передающий блок: Приемник				
00:00:01.6400000	Выход (RS-422)	МИ КИС	От ПРМ (RS-422)	1
Данные:				
00 01 04 10 00 C1 64 07 F8 F3 FD				

Рис. 8. Фрагмент протокола имитационного моделирования

виртуальные приборы и модели, реализованные по стандарту SMP2. Применение других реализаций моделей требует их доработки в соответствии со стандартом или использования существующих инструментов преобразования, например, таких как программный комплекс MOSAIC, выполняющий автоматическую передачу моделей MATLAB/Simulink в SMP2-стандарт. Для использования моделей, не имеющих собственных инструментов построения SMP2-моделей, в дальнейшем может быть обобщен опыт интеграции виртуальных приборов. Переход моделей к стандарту SMP2 обеспечит их переносимость между всеми средами моделирования в космической отрасли, поддерживающими данный стандарт.

Создание программного обеспечения на основе международных стандартов обеспечит независимость российских разработок от зарубежных коммерческих систем. Внедрение технологии переносимости имитационных моделей на этапе конструирования бортового оборудования позволит российским производителям интегрироваться в международные проекты.

Список литературы

1. **Space engineering.** System engineering general requirements (ECSS-E-ST-10C) // European space agency (ESA): ESTEC. 2009. P. 100.
2. **Simulation modelling platform.** ECSS E-40-07 // ESA Requirements and Standards Division ESTEC. 2011. Vol. 1a—5a. P. 869.
3. **Sarkarati M., Merri M., Spada M.** Cloud based architectures in ground systems of space missions // GSW 2013. ESA. 2013. P. 14.
4. **Cazenave C., Arrouy W.** Implementing SMP2 standard within SimTG simulation infrastructure // SESP 2012: Simulation and EGSE for space programmes. ESTEC. Noordwijk. 2012. P. 13.

5. **Fritzen P., Segneri D., Pignede M.** SWARMSIM — The first fully SMP2 based Simulator for ESOC // Proceedings of the 11th International Workshop on Simulation & EGSE facilities for Space Programmes. ESTEC. 2010. P. 7.

6. **Strzepek A., Esteve F., Salas S., Millet B., Darnes H.** A training, operations and maintenance simulator made to serve the MERLIN mission // 14th International Conference on Space Operations. 2016. P. 11. DOI: 10.2514/6.2016-2410.

7. **Nozhenkova L., Isaeva O., Evsyukov A.** Software tools for modeling space systems' equipment command-and-software control // DEStech Transactions on Computer Science and Engineering (CECE2017). 2017. P. 87–92. DOI: 10.12783/dtscse/cece2017/14379.

8. **Исаева О. С., Грузенко Е. А., Вогоровский Р. В., Колдырев А. Ю.** Моделирование и анализ функционирования бортовой аппаратуры командно-измерительной системы космического аппарата // Информатизация и связь. № 1. 2015. С. 58–64.

9. **Ноженкова Л. Ф., Исаева О. С., Грузенко Е. А., Вогоровский Р. В., Колдырев А. Ю., Евсюков А. А.** Комплексная поддержка конструирования бортовых систем контроля и управления космических аппаратов на основе интеллектуальной имитационной модели // Информационные технологии. № 9. 2015. С. 706–714.

10. **Bress T.** Effective LabVIEW Programming. NTS Press, 2013. P. 720.

11. **Nozhenkova L., Isaeva O., Markov A., Koldyrev A., Vovorovskiy R., Evsyukov A.** Simulation infrastructure design on the basis of the space industry's international standards // Advances in Intelligent Systems Research (CAAI2017). 2017. Vol. 134. P. 138–141. DOI: 10.2991/caai-17.2017.28.

12. **Simulation modelling platform** — Volume 2a: Metamodel. ECSS E-40-07 // ESA Requirements and Standards Division ESTEC. The Netherlands. 2011. P. 169.

O. S. Isaeva, Ph. D., Senior Researcher, isaeva@icm.krasn.ru,
Institute of Computational Modelling of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Russia, Krasnoyarsk

The Technology of Building Complex Models in the Simulation Modeling Infrastructure

In the paper the technology for constructing complex simulation models of spacecraft onboard equipment based on the European Space Agency standard — Simulation model portability (SMP2) are proposed. The standard provides the principles of portability and reuse of simulation models. In addition to SMP2-models, virtual instruments and logical models the rules of which are set in knowledge bases are used in the work. The goal of the technology is to ensure the interaction of heterogeneous simulation models, their integration based on the principles of portability and universality of the SMP2 standard. The technology is based on the formalization of models. The model contains structural-parametric and functional description of the elements determining its composition and features, as well as the method of control of transitions between the conditions under modeling. The principles of unification allowing to build a model in the terms of the subject area, with their following translation to the program elements of the model working in accordance with the SMP2 standard are suggested. This approach allows the onboard equipment designer to understand both created by own models, and models created by other specialists, and also to represent the simulated system as a whole. The technology is tested in software designed for simulation of satellite systems. The construction of complex simulation models will make to provide accumulation and usage of expert knowledge about spacecraft onboard equipment functioning.

Keywords: spacecraft, onboard equipment, simulation modeling, simulation model portability standard (SMP2), simulation modeling infrastructure.

DOI: 10.17587/it.24.474-480

References

1. **Space engineering.** System engineering general requirements (ECSS-E-ST-10C), European space agency (ESA), ESTEC, 2009, pp. 100.

2. **Simulation modelling platform.** ECSS E-40-07. ESA Requirements and Standards Division ESTEC, The Netherlands, 2011, pp. 49.

3. **Sarkarati M., Merri M., Spada M.** Cloud based architectures in ground systems of space missions, *GSW 2013*, ESA, 2013, pp. 14.

4. **Cazenave C., Arrouy W.** Implementing SMP2 standard within SimTG simulation infrastructure, *SESP 2012: Simulation and EGSE for space programmes*, ESTEC, Noordwijk, 2012, pp. 13.

5. **Fritzen P., Segneri D., Pignede M.** SWARMSIM — The first fully SMP2 based Simulator for ESOC, *Proceedings of the 11th International Workshop on Simulation & EGSE facilities for Space Programmes*, ESTEC, 2010, pp. 7.

6. **Strzepek A., Esteve F., Salas S., Millet B., Darnes H.** A training, operations and maintenance simulator made to serve the MERLIN mission, *14th International Conference on Space Operations*, 2016, pp. 11, DOI: 10.2514/6.2016-2410.

7. **Nozhenkova L., Isaeva O., Evsyukov A.** Software tools for modeling space systems' equipment command-and-software control. *DEStech Transactions on Computer Science and Engineering (CECE2017)*, 2017, pp. 87–92, DOI: 10.12783/dtscse/cece2017/14379.

8. **Isaeva O. S., Gruzenko E. A., Vovorovskiy R. V., Koldyrev A. Yu.** Modelirovaniye i analiz funkcionirovaniya bortovoy apparatury komandno-izmeritel'noy sistemy kosmicheskogo apparata (Modeling and analysis of functioning of the spacecraft command and measuring system), *Informatsionnaya i Svjaz'*, 2015, no. 1, pp. 58–64 (in Russian).

9. **Nozhenkova L. F., Isaeva O. S., Gruzenko E. A., Vovorovskiy R. V., Koldyrev A. Yu., Evsyukov A. A.** Kompleksnaya podderzhka konstruirovaniya bortovykh sistem kontrolja i upravlenija kosmicheskikh apparatov na osnove intellektual'noj imitacionnoj modeli (Complex support of designing onboard control and management systems of spacecrafts on the basis of intellectual simulation model). *Informacionnye Tehnologii*, 2015, no. 9, pp. 706–714 (in Russian).

10. **Bress T.** Effective LabVIEW Programming. NTS Press. 2013. P. 720.

11. **Nozhenkova L., Isaeva O., Markov A., Koldyrev A., Vovorovskiy R., Evsyukov A.** Simulation infrastructure design on the basis of the space industry's international standards. *Advances in Intelligent Systems Research (CAAI2017)* 2017, vol. 134, pp. 138–141, DOI: 10.2991/caai-17.2017.28.

12. **Simulation modelling platform** — Volume 2a: Metamodel. ECSS E-40-07. ESA Requirements and Standards Division ESTEC, The Netherlands, 2011, pp. 169.