

Л. Ф. Ноженкова, д-р техн. наук, зав. отд., e-mail: expert@icm.krasn.ru,
О. С. Исаева, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: isaeva@icm.krasn.ru,
Е. А. Грузенко, аспирант, e-mail: Gruzenko@icm.krasn.ru,
Р. В. Вогоровский, инженер, e-mail: vogorovskiy@icm.krasn.ru,
А. Ю. Колдырев, инженер, e-mail: raventus@icm.krasn.ru,
А. А. Евсюков, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: alev@icm.krasn.ru
 Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

Комплексная поддержка конструирования бортовых систем контроля и управления космических аппаратов на основе интеллектуальной имитационной модели

Предложена технология автоматизации и программной поддержки решения функциональных задач конструктора бортовой аппаратуры космического аппарата. Выполнен обзор состояния проблемы и существующих технологических и программных решений. Рассмотрены особенности информационного взаимодействия систем космического аппарата, осуществляющих контроль и командно-программное управление его основными системами. Выделены задачи моделирования бортовых систем и требования к интеграции, которым должна отвечать построенная модель. На основе системного подхода выполнено проектирование программного комплекса, предназначенного для информационно-графического и имитационного моделирования, анализа функционирования бортовой аппаратуры, а также для поддержки решения исследовательских задач. Апробация технологических подходов и программных решений выполнена на примере бортовой аппаратуры командно-измерительной системы. Результаты работы предназначены для внедрения в организацию, занимающуюся разработкой спутниковых систем.

Ключевые слова: космический аппарат, бортовая аппаратура, командно-измерительная система, программно-математическая модель, имитационное моделирование, телекоманды, телеметрия, контрольно-проверочная аппаратура, поддержка проведения испытаний, анализ функционирования оборудования, учебно-исследовательская система

Введение

Развитие высокотехнологичного и наукоемкого производства сложных программно-технических комплексов основывается на разработке методов интеллектуальной, информационной, графической поддержки конструирования и анализа функционирования технических устройств. Проведение экспериментальных исследований зачастую связано с экономическими и технологическими трудностями, что делает актуальной разработку единых подходов и программных решений, которые позволили бы представлять процессы функционирования и проводить анализ характеристик исследуемых объектов на программных моделях. Программная поддержка позволяет ускорить и значительно удешевить процессы конструирования различных технических устройств и систем.

Одним из научно-производственных направлений, для которого эффективно использование методов компьютерной поддержки и информационного моделирования, является конструирование и испытание бортовых систем контроля и управления космических аппаратов. В данном случае ограниченность возможностей экспериментального исследования космических аппаратов делает актуальной разработку методов программно-инструментальной

поддержки решения таких задач [1]. Существующее программное обеспечение, как правило, предназначено для оптимизации структуры, состава и размещения оборудования на борту космического аппарата, что позволяет найти решение, удовлетворяющее заданным требованиям по массогабаритным характеристикам, физическим свойствам и условиям эксплуатации [2]. Такого подхода оказывается недостаточно для моделирования объектов, имеющих собственную логику функционирования.

Особенностью рассматриваемых объектов анализа является наличие внутренней программы работы, собственных протоколов и наборов данных для информационного взаимодействия подсистем. Для автономных испытаний требуется выполнять моделирование передачи потоков данных от программ, имитирующих бортовые системы, к реальному оборудованию. Эти особенности должны учитываться при создании технологии моделирования и анализа функционирования. Программная поддержка конструирования таких объектов требует создания различных программных методов, позволяющих исследовать работу оборудования при различных заданных условиях. Решение исследовательских и конструкторских задач, возникающих на различных этапах проектирования, разработки и ввода в экс-

платацию бортовых систем, требует создания научно обоснованных методов, методик, рекомендаций и специального программного обеспечения.

Обзор существующих подходов к поддержке конструирования бортовой аппаратуры космического аппарата

Стандарты Европейского космического агентства определяют системную разработку как междисциплинарный подход, управляющий всеми процессами преобразования технических требований в готовые решения в космической отрасли [3]. Стандартами определяются способы и форматы осуществления информационного взаимодействия бортовых систем между собой и с наземным комплексом управления. В процессе информационного взаимодействия применяются два типа данных: телекоманды (стандарт ESAPSS-04-107 [4]) и телеметрия (ESAPSS-04-106 [5]). Требуется разработать единую технологию моделирования и анализа функционирования бортовых систем космического аппарата, рассматривая их с точки зрения выполнения целевого назначения и абстрагируясь от внутреннего устройства исследуемого объекта, имитируя его поведение и информационное взаимодействие подсистем с участием указанных типов данных.

Основываясь на системном подходе, можно выделить основные задачи деятельности конструктора бортовой аппаратуры, требующие программного сопровождения и применения современных информационных технологий. К таким задачам относятся:

- моделирование особенностей функционирования бортовой аппаратуры в соответствии с различными условиями эксплуатации и назначением;
- проектирование основных принципов информационно-коммутиационного взаимодействия бортовых систем;
- проведение испытаний оборудования в составе контрольно-проверочной аппаратуры;
- анализ результатов испытаний;
- поддержка исследовательских функций и подготовка специалистов к работе с техническими устройствами и программным обеспечением.

Проведение различных имитационных экспериментов, изменение параметров функционирования модели, упрощение или детализация ее структуры будут способствовать лучшему пониманию свойств и характеристик бортовой аппаратуры [6].

Как правило, задачи поддержки конструирования рассматриваются в узконаправленных, не имеющих взаимосвязи исследованиях. Такие решения касаются отдельных проблем моделирования, испытания оборудования или анализа данных [7]. Для выбора метода и технологии решения поставленных задач рассмотрены существующие подходы, заключающиеся в применении специализированных программных систем [8], языков имитационного моделирования либо универсальных языков

программирования. Существует целый ряд программных систем как отечественного, так и зарубежного производства, предназначенных для выполнения структурного или имитационного моделирования. Например, можно отметить AnyLogic, Aimsun, Arena, Automod, Promodel [9]. Как правило, такие системы проблемно-ориентированные, содержат возможности сбора, обработки и вывода результатов моделирования, позволяют быстро и подробно анализировать предполагаемые исходы имитационных экспериментов [10]. Такие системы адаптированы под решение специфических задач, для которых они были разработаны, например, моделирование бизнес-процессов, логистика, организация транспортных потоков и пр. Однако их адаптация для моделирования функционирования бортовых систем накладывает существенные ограничения на постановку задачи, что делает невозможным построение адекватных моделей, отражающих ключевые аспекты контроля и управления космических аппаратов. Кроме того, затруднительно их применение для построения комплексных многофункциональных систем. Для обеспечения тесного взаимодействия между всеми программными модулями, поддерживающими различные задачи конструирования, необходимо создать средства имитационного моделирования как части единого программного обеспечения.

Для выбора методов программной поддержки анализа функционирования бортовой аппаратуры были рассмотрены существующие подходы к проведению испытаний технических систем. Под испытанием понимается экспериментальное определение количественных и (или) качественных свойств объекта путем воздействия на него контрольно-проверочной аппаратуры [11]. Строгое соответствие характеристик оборудования заданным на этапе проектирования техническим требованиям обеспечивает его правильную и долгосрочную работу на этапе эксплуатации, что имеет существенное значение в космической отрасли.

Испытания бортового оборудования должны проводиться при контроле телеметрической информации, отражающей его состояние. Достижение точности, достоверности и скорости получения результатов предъявляет дополнительные требования к программному обеспечению [12]. Анализ функционирования бортовой аппаратуры проводится как в составе борта космического аппарата, так и автономно. В этом случае требуется имитировать информационное взаимодействие бортовых систем и наземного комплекса управления для подтверждения заданных требований функционирования. Существующие специализированные аппаратно-программные комплексы обеспечивают высокие точность и скорость проведения измерений и позволяют управлять различным технологическим оборудованием [13].

Исследование подобного класса систем показало, что они направлены на решение отдельных задач испытания и анализа, не предназначены или имеют существенные ограничения по расширению измерительных функций. Такие системы реализованы в различных программных средах, что затрудняет, а в каких-то случаях делает невозможным интеграцию и совместное использование разработок различных производителей. Программное обеспечение должно основываться на современных технологиях разработки информационно-измерительных систем, соответствовать повышенным требованиям к измерительным возможностям оборудования, обеспечивать расширяемость и функциональную интеграцию с инструментами имитационного моделирования.

Таким образом, требуется разработать подход, позволяющий не просто объединить набор отдельных решений, но и разработать целостный интегрированный программный комплекс, предназначенный для моделирования, проектирования, проведения испытаний, анализа, обработки данных и сопровождения исследовательских задач.

Системный анализ функциональных задач поддержки конструирования

Для решения задач комплексной поддержки конструирования применяли методы системного проектирования. Выполнен совместный анализ объекта исследования и процесса его создания и функционирования с учетом особенностей взаимодействия и взаимосвязей отдельных объектов и их частей как между собой, так и с внешней средой. В основе процесса поддержки конструирования должна лежать модель бортовой аппаратуры космического аппарата. Задача построения адекватной модели требует создания графической конфи-

гурации и информационного описания структурных элементов, коммутационных связей, параметров и характеристик. Функции модели определяются назначением исходного объекта моделирования и различаются в зависимости от задач бортовой аппаратуры и условий ее эксплуатации. Не существует однозначного описания алгоритмов работы бортовых систем. Требуется разработать такие способы задания поведения модели, которые позволили бы конструктору в простой и наглядной форме моделировать различные реализации ее функционирования.

Для решения этой задачи, как правило, применяют технологии искусственного интеллекта. Требуется разработать базу знаний, позволяющую задавать правила функционирования бортовой аппаратуры, создавать удобные инструменты ведения базы, выполнять разработку методов логического вывода. Это позволит изменять состояние модели, основываясь на знаниях и проектных решениях конструктора, имитируя функционирование реальной системы. Если для построения модели использовать технические описания готового оборудования, то она может лечь в основу процесса проведения его испытаний. Применение имитационного моделирования дает возможность детально изучать различные вопросы конструирования бортовых систем: опыт создания, способы информационного взаимодействия, особенности подготовки и проведения испытаний. Кроме того, моделирование позволит решать учебно-исследовательские задачи и, в свою очередь, будет способствовать повышению квалификации и качества подготовки персонала.

На основе концептуального описания задач конструирования разработаны функциональные диаграммы (рис. 1).

В связи со сложностью объекта исследования, отсутствием в открытом доступе подобных решений, которые бы могли лечь в основу системного проекта, процесс создания функциональных диаграмм получился итерационным. Применение итерационного принципа проектирования позволило последовательно приблизиться к выделению требований к программному обеспечению, детально описать необходимые данные, зависимые процессы, архитектуру и единые принципы создания программного обеспечения в целом, способы организации отдельных подсистем [14].

На основе детализации функциональных диаграмм выполнено проектирование подсистем программного комплекса в следующем составе:

- подсистема информационно-графического моделирования. Ее ос-

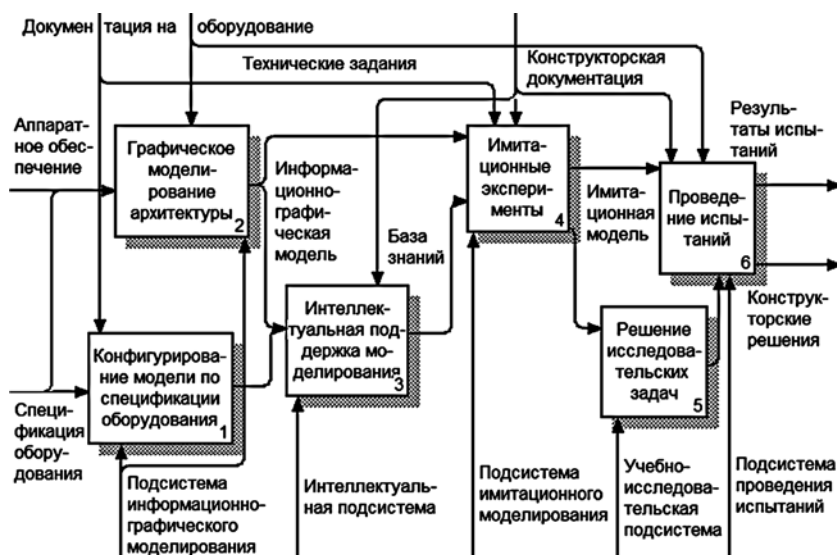


Рис. 1. Функциональная диаграмма поддержки конструирования

- новное назначение — формирование модели в соответствии с конфигурацией бортовой аппаратуры;
- интеллектуальная подсистема. Предназначена для задания логики работы бортовой аппаратуры в виде правил изменения состояний информационно-графической модели;
 - подсистема имитационного моделирования. Позволяет проводить имитационные эксперименты для анализа функционирования бортовой аппаратуры при различных условиях;
 - учебно-исследовательская подсистема. Предназначена для исследования работы бортовых систем в целях повышения квалификации;
 - подсистема проведения испытаний. Ее назначение — анализ характеристик работы оборудования в соответствии с техническими требованиями и сценариями функционирования.

Для оптимального распределения функций между программными системами описаны организационные и информационные ресурсы, выполнена унификация задач, разработаны модели данных и принципы организации единого информационного пространства, необходимые как для работы отдельных подсистем, так и для проекта в целом. Единое информационное пространство обеспечивается за счет создания базы данных, хранилища данных, базы знаний, содержащих описания параметров, режимов функционирования, правил поведения элементов модели, сценариев и результатов испытаний оборудования.

Результатом реализации системного проекта стал программный комплекс, предназначенный для поддержки конструирования бортовых систем управления, контроля параметров космического аппарата. Каждая подсистема предоставляет специализированный интерфейс, отражающий функции, соответствующие решаемым задачам.

Информационно-графическое моделирование

Разработана среда информационно-графического моделирования, предназначенная для создания графического описания объекта моделирования, его составных частей и их взаимных связей. Степень детализации модели определяется целью моделирования. Для построения модели разработаны визуальные инструменты (рис. 2).

С помощью программного обеспечения конструктор имеет возможность создавать собственный проект аппаратуры или строить модель готового оборудования для анализа его функционирования, определять коммутационные интерфейсы, вводить

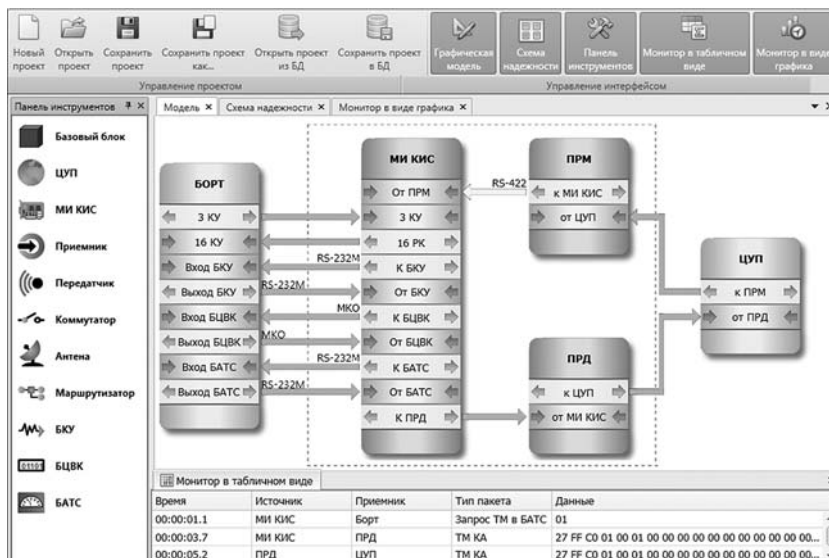


Рис. 2. Подсистема информационно-графического моделирования

параметры функционирования и задавать различные характеристики. Программное обеспечение позволяет манипулировать графическими объектами и характеристиками predetermined элементов из панели инструментов. Разработаны информационные модели бортовой аппаратуры, из которых конструктор может создавать собственные элементы, имеющие необходимую конфигурацию.

Задачи, возникающие перед конструктором в процессе моделирования, могут потребовать многократного изменения графической модели, упрощения или детализации отдельных функциональных блоков. Например, для анализа прохождения информации через определенный цифровой интерфейс модель упрощается — в нее могут быть включены связи только по выбранному интерфейсу. Информационно-графическая модель предназначена для проведения имитационных экспериментов.

Интеллектуальные методы имитационного моделирования

Для создания методов работы имитационной модели выполнен переход от содержательного к формальному описанию процесса функционирования объекта моделирования на основе информационно-графической модели и базы знаний. База знаний содержит правила:

- информационного взаимодействия;
- работы отдельных элементов бортовой аппаратуры;
- выполнения командно-программного управления;
- прохождения пакетов телекоманд и телеметрической информации;
- описания реакций на изменения наблюдаемых параметров.

Правила позволяют манипулировать множествами входных воздействий, воздействий внешней среды, внутренних параметров и выходных наблюдаемых параметров.

Правила представляют собой конструкцию вида: "Если условие то действие". Левая часть правила задает условие его выполнения, а правая часть — действия, осуществляющие изменение состояния модели. Задание правил выполняется через визуальный редактор, предоставляющий простой и наглядный интерфейс для формирования символьных конструкций, описывающих логику работы модели (рис. 3).

В базе правил поддерживается модульность, которая позволяет вносить изменения знаний (добавляя, удаляя или модифицируя отдельные производные правила) без изменения логики работы независимых блоков. Выбранная структура знаний облегчает их интерпретацию и позволяет в естественном виде манипулировать графическими блоками модели и их информационными характеристиками.

База знаний применяется для интеллектуальной поддержки имитационного моделирования. Имитация функционирования модели осуществляется путем пошагового или автоматического изменения ее состояния в соответствии с заданными в базе знаний правилами. Для этого в процессе логического вывода выбираются правила, применимые к текущему состоянию модели, выполняются действия и визуализируется выполнение команд, имитируются процессы формирования и передачи пакетов данных. Имитационные эксперименты способствуют глубокому пониманию системы и позволяют представлять, как она реагирует на внешние воздействия, нештатные ситуации и как развивается с течением времени [15].

Программное обеспечение имитирует и визуализирует изменение состояния и активности элементов модели, формирование и передачу пакетов

данных через коммутационные интерфейсы. В графическом представлении каждая передача данных сопровождается анимационными эффектами. Интерактивный процесс моделирования позволяет конструктору проводить имитационные эксперименты, изменяя параметры приема, передачи сигналов, времени ожидания ответов и квитанций, переключая активность коммутационных интерфейсов и элементов модели для анализа ее поведения при нештатных ситуациях.

Если построение имитационной модели выполняется в соответствии с технической документацией на уже созданное оборудование, то такая модель является основой для проведения ее испытаний. В этом случае характеристики элементов модели предназначены для оценки параметров функционирования оборудования, контроля результатов испытаний на основе эталонных критериев, формирования реакций при выходе за граничные условия, а также формирования рекомендаций.

Подготовка и проведение испытаний

Комплексная поддержка проведения испытаний бортовых систем космического аппарата основывается на исследовании технологических подходов к задаче построения измерительных информационных систем. Под измерительной системой понимается совокупность функционально объединенных средств измерений, вычислительной техники и вспомогательных устройств, взаимодействующих между собой и предназначенных для выработки и анализа измерительной информации о физических величинах, свойственных объекту [12]. Измерительные системы имеют характерные особенности, которые учитывались при проектировании и создании программного обеспечения: разнотипность измерительного оборудования и проводимых экспериментов, многократное изменение методики испытаний, расширяемость функций и набора исследуемых величин и др. Основные информационные процессы в такой системе — измерение и контроль, анализ и диагностика, сбор и хранение, отображение и обобщение. Все измерительные задачи выполняются с помощью контрольно-проверочной аппаратуры. Для взаимодействия с ней существуют специальные библиотеки программ. Эти программы составляют нижний уровень программного обеспечения, могут быть реализованы в разных средах разработки, работать по собственным принципам и быть заменяемыми в случае необходимости. Разрабатываемое программное обеспечение использует предоставляемые библиотеки и осуществляет поддержку измерительных задач, организуя верхний уровень взаимодействия пользователя и объекта контроля. Назначение подсистемы проведения испытаний заключается в управлении ходом испытаний в соответствии с определенными пользователем сценариями. Сценарии проведения испытаний

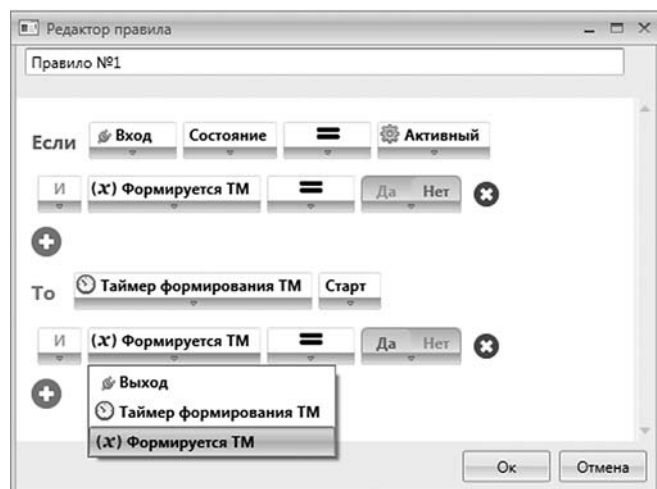


Рис. 3. Редактор правила

представляют собой набор измерений и действий на основе команд и параметров оборудования (рис. 4).

Процесс создания сценария — это строго упорядоченная последовательность шагов. На первом шаге формируется набор действий, которые представляют собой методы работы с измерительным оборудованием. Конструктор из действий формирует последовательности, представляющие собой задания на измерения и наблюдения, из которых строятся сценарии испытаний. Например, в качестве действий могут выступать: измерение номинальной частоты, определение частоты и частотной нестабильности несущего колебания, измерение спектра с использованием маски. Действия объединяются в задание. Построенные задания объединяются в сценарий, который позволяет анализировать состояние объекта испытаний. Для действий определяются условия функционирования, наблюдаемые и контролируемые параметры, а также способы визуализации результатов испытаний.

Программное обеспечение проводит проверку корректности испытаний в соответствии с техническими параметрами оборудования, заданными в информационно-графической модели. Функции анализа измерений формируют реакции при выходе за граничные условия, генерацию отчетов и рекомендаций по результатам проведенных испытаний. Поддерживается программная управляемость, т. е. возможность программным путем изменять состояние оборудования или алгоритмы его функционирования (в допустимых пределах), для оперативного изменения возможности всей системы в зависимости от конкретных задач или результатов анализа.

Учебно-исследовательские функции

Учебно-исследовательская подсистема (рис. 5) представляет собой программный комплекс, предназначенный для интерактивного обучения и приобретения знаний, навыков работы инженерно-технического персонала и студентов в объеме, необходимом для проектирования и тестирования составных частей комплекса бортовой аппаратуры командно-измерительной системы.

В основе учебного курса лежит имитационная модель, позволяющая наглядно демонстрировать различные особенности функционирования бортовых систем космического аппарата. Модель может использоваться в каче-

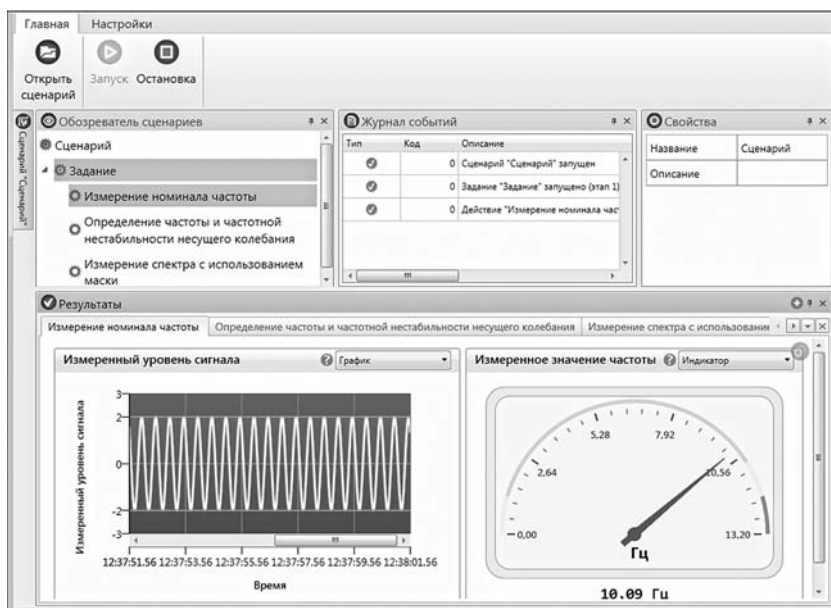


Рис. 4. Подсистема проведения испытаний и анализа результатов

стве тренажера для задания учебно-тренировочных сценариев. Поддерживаются задачи базовой подготовки персонала [16], выработки умений решения типовых задач, формирования навыков работы с оборудованием, а также действий в нестандартных ситуациях. Трансляция содержательного наполнения учебного курса осуществляется в соответствии с тематическими разделами либо согласно индивидуальным предпочтениям пользователей.

Функции моделирования обучающих ситуаций позволяют в графической нотации создавать модели процессов работы бортовой аппаратуры, управлять параметрами модели и вносить корректирующие поправки в обучающие сценарии. Возможность проводить модельные эксперименты способствует развитию способностей к проектированию, исследованию и анализу функционирования оборудования. Объединение информационных технологий транс-

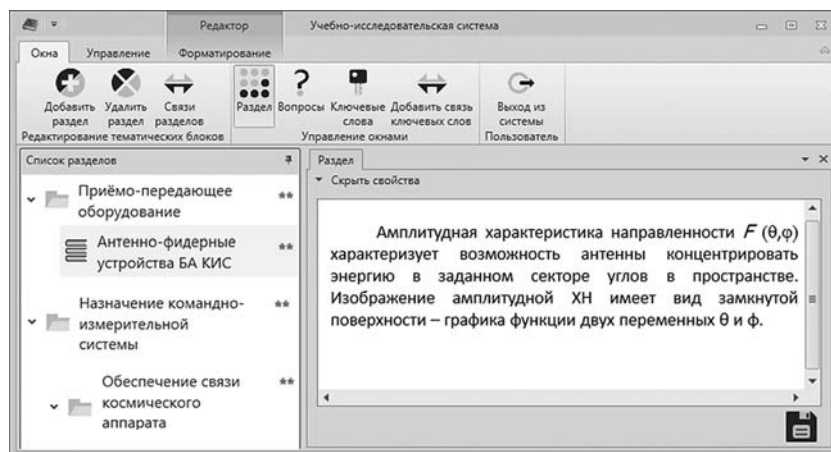


Рис. 5. Учебно-исследовательская подсистема

ляции учебного материала с функциями тренажера обеспечивает новые возможности подготовки специалистов.

Для организации индивидуальных траекторий обучения задаются информационные зависимости между учебными материалами, определяющие последовательности разделов, необходимые для успешного освоения каждой темы. Дополнительная навигация задается средствами ведения тематического тезауруса. Он объединяет в себе расширенный справочник ключевых слов, описывающих зависимые понятия и тематические разделы. Поддерживаются функции подготовки тематических заданий и выполнения контроля знаний. Обеспечивается возможность формирования подсказок и рекомендаций на основе информационных зависимостей характеристик обучающихся и индивидуальных траекторий обучения, что соответствует требованиям, предъявляемым к современным образовательным ресурсам.

Поддержка конструирования командно-измерительной системы космического аппарата

Разработанные подходы и программное обеспечение были апробированы на примере решения задач комплексной информационно-графической поддержки конструирования бортовой аппаратуры командно-измерительной системы космического аппарата. Командно-измерительная система представляет собой одну из важнейших бортовых систем. Она предназначена для измерения параметров движения космического аппарата, приема и передачи различных видов информации, формирования и передачи на космический аппарат команд и программ управления, стандартных частот и сигналов времени для синхронизации работы бортового комплекса управления [17].

Построенная модель командно-измерительной системы содержит более 10 базовых элементов, включая резервные комплекты. Для задания информационного обмена в модели создано порядка 40 коммутационных соединений, имеющих различные типы интерфейсов: RS-232, RS-422, MKO, Spicewire. Основу модели составляют функциональные элементы специального назначения (приемник, передатчик, интерфейсный модуль командно-измерительной системы), описывающие возможности внутрисистемного информационного обмена. Внешнее взаимодействие командно-измерительной системы задается с помощью блоков бортовых систем космического аппарата: бортового комплекса управления, бортового цифрового вычислительного комплекса и бортовой аппаратуры телекоммуникации. Реализовано моделирование внешнего управления в части взаимодействия наземно-

го комплекса с командно-измерительной системой космического аппарата.

Инструменты графического моделирования позволяют выполнять детализацию или расширение модели в зависимости от решаемых задач и целей моделирования. На основе технических документов и спецификаций оборудования разработана база знаний, описывающая функционирование командно-измерительной системы космического аппарата. Информационное взаимодействие бортовых систем между собой и с наземным комплексом управления осуществляется на основе двух типов данных: телекоманд и телеметрической информации. Моделируются процессы получения телекоманд из наземного комплекса управления для имитации командно-программного управления бортовыми системами. Сведения о состоянии бортовых систем и квитанции о получении и выполнении команд управления содержатся в пакетах телеметрической информации, которые предназначены для передачи с борта космического корабля в наземный комплекс управления. В модели имитируется состав телеметрической информации, способы ее формирования и передачи на уровне информационного обмена.

Разработана база знаний, описывающая правила и порядок выбора комплекта рабочего оборудования, различных режимов, скорости передачи данных между бортовыми системами по выбранному коммутационному интерфейсу. Правила задают способы приема-передачи телеметрической информации, контроля состояния бортовой аппаратуры. Например, правило выбора скорости формирования телеметрической информации в основном комплекте интерфейсного модуля командно-измерительной системы имеет вид:

Если Команда = U10002N

или Команда = Рестарт

То Скорость формирования телеметрии =
= 1000 бит/с

База знаний позволяет выполнять моделирование свойств и характеристик бортовой аппаратуры командно-измерительной системы в объеме, необходимом для проведения исследований структуры, состава, функций и области изменения параметров модели. Простой и наглядный способ описания правил позволяет конструктору самостоятельно представлять различные варианты работы оборудования.

Конфигурация модели полностью повторяет схему реального оборудования командно-измерительной системы и используется для проведения испытаний информационного взаимодействия между оборудованием командно-измерительной системы и бортовыми системами в случае, когда последние представлены своей имитационной моделью. Такое мо-

делирование позволяет проводить анализ функционирования аппаратуры с учетом изменения ограничений и целевых функций в условиях имитации взаимодействия с внешней средой. Проводимые во время испытаний проверки позволяют экспериментально подтвердить соответствия характеристик командно-измерительной системы установленным техническим требованиям.

Выполняется первичное наполнение информационно-справочного материала учебно-исследовательской подсистемы. Применение разработанных программных инструментов позволило реализовать различные обучающие ситуации, демонстрирующие логику работы бортовой аппаратуры командно-измерительной системы.

Результаты работы предназначены для внедрения в организации, занимающуюся разработкой спутниковых систем.

Заключение

Результатом проведения системных исследований стала единая технология организации комплексной поддержки конструирования бортовых систем контроля и управления космического аппарата. В ее основе лежат общие принципы построения интеллектуальной информационно-графической модели, предназначенной для имитационного моделирования и анализа работы бортовой аппаратуры.

Предложенные методы и технологические подходы реализованы в программном обеспечении, которое позволяет выполнять моделирование архитектуры и логики функционирования в соответствии с назначением и условиями работы реального оборудования. Применение созданного программного обеспечения расширило возможности проведения экспериментальных исследований, предназначенных для выполнения анализа параметров оборудования и его соответствия техническим требованиям. Программное обеспечение выполнено на современном техническом уровне в соответствии с передовыми тенденциями развития информационных, измерительных и образовательных технологий.

В настоящий момент закончена разработка основных подсистем программного обеспечения. Апробация готовых программных решений выполнена на примере задачи поддержки конструирования бортовой аппаратуры командно-измерительной системы космического аппарата.

Готовится проведение испытаний программного обеспечения и внедрение его в опытную эксплуа-

тацию в организации-разработчике спутниковых систем. Применение программного комплекса даст возможность принимать научно обоснованные конструкторские решения на всех этапах жизненного цикла разработки бортовой аппаратуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в Институте вычислительного моделирования СО РАН (договор № 02.G25.31.0041).

Список литературы

1. Александровская Л. Н., Круглов В. И., Кузнецов А. Г. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем. М.: Логос, 2003. 736 с.
2. Higdon K. P., Klaus D. M. Multidisciplinary design optimization for the development of human spacecraft // Conference Proceeding Paper "Earth & Space 2008: Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments". March 3–5, 2008, Long Beach, California, United States. 2008. P. 1–10.
3. Space engineering. System engineering general requirements ECSS-E-ST-10C. Netherland: ESA publication division, 2009. 100 p.
4. Packet Telecommand Standard (ESA PSS-04-107). Is. 2: European space agency. 1992. 166 p.
5. Packet Telemetry Standard (ESA PSS-04-106). Is. 1: European space agency, 1988. 73 p.
6. System Design, Modeling, and Simulation using Ptolemy II: Ptolemy.org, 2014. URL: <http://ptolemy.org/systems>.
7. Фраленко В. П. Методы и алгоритмы обработки потоков данных в многопроцессорных вычислительных комплексах командно-измерительных систем: Автореферат дис. ... канд. техн. наук. Переславль-Залесский, 2011. 21 с.
8. Лычкина Н. Н. Технологические возможности современных систем моделирования // Банковские технологии. 2000. Вып. 9. С. 60–63.
9. Зайцева Н. О. Имитационное моделирование средствами системно-объектного подхода // Научные ведомости Белгородского государственного университета. 2012. Вып. 7–1. Т. 22. С. 155–159.
10. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. М.: Высшая школа, 2009. 343 с.
11. ГОСТ 16504–81. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. М.: Стандартинформ, 2011. 24 с.
12. Раннев Г. Г. Измерительные информационные системы. М.: Издательский центр "Академия", 2010. 336 с.
13. Системы тестирования современной электроники. URL: http://www.pegasuslogic.ru/docs/semiconductor_test.pdf.
14. Маклаков С. В. Создание информационных систем с All-Fusion Modeling Suite. 2-е изд., доп. М.: Диалог-МИФИ, 2007. 400 с.
15. Замятина О. М. Моделирование систем: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. 204 с.
16. Башмаков А. И., Башмаков И. А. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем. М.: Филинь, 2003. 616 с.
17. ГОСТ Р 53802–2010. Системы и комплексы космические. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2011. 28 с.

L. F. Nozhenkova, Head of Department, e-mail: expert@icm.krasn.ru,
O. S. Isaeva, Senior Researcher, e-mail: isaeva@icm.krasn.ru,
E. A. Gruzenko, Post-Graduate, e-mail: gruzenko@icm.krasn.ru,
R. V. Vogorovskiy, Engineer, e-mail: vogorovskiy@icm.krasn.ru,
A. Yu. Koldyrev, Engineer, e-mail: raventus@icm.krasn.ru,
A. A. Evsyukov, Senior Researcher, alev@icm.krasn.ru
Institute of computational modelling SB RAS, Russia, Krasnoyarsk

Complex Support of Designing Onboard Control and Management Systems of Spacecrafts on the Basis of Intellectual Simulation Model

This article describes the program-instrumental support of designing of the spacecraft onboard monitoring and control systems. The main purpose of this work is to automate all stages of the development life cycle of spacecraft onboard systems including designing, production, testing and commissioning. It proposed integrated approach of combining informational, measuring, computing and control functions within a single software. This software is a complex of four subsystems. The first is the graphic interfaces subsystem that allows to construct and to configure the model of the onboard monitoring and control systems. The subsystem of intelligent simulation modelling is intended to simulate process of passing of the information packets through the model of onboard monitoring and control system. The test execution subsystem provides complex support of the spacecraft systems testing by organizing test sequences and analyzing tests results. The educational system is intended for personnel training in the area of designing and testing of the spacecraft onboard monitoring and control systems. Proposed technological and software methods allow to make scientifically based design solutions at all stages of development life cycle of the spacecraft onboard systems. Proposed approach is applies to designing of the spacecraft command and measuring system that solves tasks of command control and monitoring of the spacecraft onboard systems.

Keywords: spacecraft, onboard equipment, command and measuring system, program and mathematical model, simulation modeling, telecommands, telemetry packets, test and control equipment, test execution support, analysis of the functioning, educational and research system

References

1. Aleksandrovskaja L. N., Kruglov V. I., Kuznecov A. G. *Teoreticheskie osnovy ispytanij i jeksperimental'naja otrabotka slozhnyh tehnikeskikh sistem*. M.: Logos, 2003. 736 p.
2. Higdon K. P., Klaus D. M. Multidisciplinary design optimization for the development of human spacecraft. *Conference Proceeding Paper "Earth & Space 2008: Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments"*. March 3–5, 2008, Long Beach, California, United States. 2008, pp. 1–10.
3. *Space engineering. System engineering general requirements ECSS-E-ST-10C*. Netherland: ESA publication division, 2009. 100 p.
4. *Packet Telecommand Standard (ESA PSS-04-107)*. Iss. 2: European space agency. 1992. 166 p.
5. *Packet Telemetry Standard (ESA PSS-04-106)*. Iss. 1: European space agency. 1988. 73 p.
6. *System Design, Modeling, and Simulation using Ptolemy II*: Ptolemy.org, 2014. URL: <http://ptolemy.org/systems>.
7. Fralenko V. P. *Metody i algoritmy obrabotki potokov dannyh v mnogoprocessornyh vychislitel'nyh kompleksah komando-izmeritel'nyh sistem*: Avtoreferat kand. tehn. nauk. Pereslavl'-Zalesskij, 2011. 21 p.
8. Lychkina N. N. Tehnologicheskie vozmozhnosti sovremennyh sistem modelirovaniya. *Bankovskie tehnologii*. 2000, vol. 9. P. 60–63.
9. Zaitseva N. O. Imitatsionnoe modelirovanie sredstvami sistemno-ob'ektnogo podhoda. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo Gosudarstvennogo universiteta*. 2012, vol. 22, iss. 7–1, pp. 155–159.
10. Sovetov B. Ja., Jakovlev S. A. *Modelirovanie sistem*. M.: Vysshaja shkola, 2009. 343 p.
11. **GOST 16504–81**. *Ispytanija i kontrol' kachestva produkcii. Osnovnye terminy i opredelenija*. M.: Standartinform, 2001. 24 p.
12. Rannev G. G. *Izmeritel'nye informacionnye sistemy*. M.: Izdatel'skij centr "Akademija", 2010. 336 p.
13. **Sistemy testirovaniya sovremennoj elektroniki**. URL: http://www.pegasuslogic.ru/docs/semiconductor_test.pdf.
14. Maklakov S. V. *Sozdanie informacionnyh sistem s AllFusion Modeling Suite*. 2-e izd., dop. M.: Izdatel'stvo Dialog-MIFI, 2007. 400 p.
15. Zamjatina O. M. *Modelirovanie sistem: uchebnoe posobie*. Tomsk: Izd-vo TPU, 2009. 204 p.
16. Bashmakov A. I., Bashmakov I. A. *Razrabotka komp'juternyh uchebnikov i obuchajushhih sistem*. M.: Informacionno-izdatel'skij dom "Filin", 2003. 616 p.
17. **GOST R 53802–2010**. *Sistemy i komplekсы kosmicheskie. Terminy i opredelenija*. M.: Standartinform, 2011. 28 p.