



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
САМАРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК – ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
САМАРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИПУСС РАН - САМНЦ РАН)

Садовая ул., 61, г. Самара, 443020; тел./факс(846) 333-27-70; e-mail: iccs@iccs.ru; http://www.iccs.ru
ОКПО 94655724; ОГРН 1036300448898; ИНН/КПП 6316032112/631745001

21.01.2022 № 192-04-ИПУСС РАН

В диссертационный совет

24.2.403.01

На № 431/2 - 3044 от 25.11.2021

на базе ФГБОУ ВО «Сибирский
государственный университет науки и
технологий им. академика М.Ф. Решетнёва»
проспект им. газеты Красноярский рабочий, 31,
г. Красноярск, 660037

УТВЕРЖДАЮ

Директор

ИПУСС РАН – СамНЦ РАН

д.т.н.

С.Ю. Боровик

«21» января 2022 года

ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертации

ИСАЕВОЙ Ольги Сергеевны

*«Технология интеллектуального имитационного моделирования и
анализа функционирования бортовых систем космических аппаратов»,
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка
информации*

1 Актуальность темы диссертации

Цифровизация производственных процессов космического
приборостроения задаёт актуальные направления научно-технического
развития в сфере имитационного моделирования программно-технических

комплексов и систем, обеспечивающего эффективную поддержку жизненного цикла бортовой аппаратуры космических аппаратов. Применение типовых средств моделирования в этих задачах осложнено слабой структурированностью, неполнотой и недостаточной формализацией знаний о сложных аспектах управления бортовыми системами, в частности, причинно-следственных отношениях в поведении составляющих их компонент. Отсутствие единой технологической основы моделирования подобных систем не позволяет обеспечить эффективную организацию процессов их проектирования, разработки и испытаний. Предоставляемая существующими подходами цифровая поддержка не имеет достаточной проработанности вопросов интеграции этих процессов с имитационными моделями и не решает трудоёмкие задачи подготовки и проведения испытаний, включающие автоматизацию построения испытательных процедур, подготовку измерительных инструментов, реализацию правил передачи и обработки пакетов данных, имитацию логических функций сопряжённых устройств, мониторинг и анализ результатов испытаний.

Для практики требуются новые подходы, в основу которых целесообразно положить современную концепцию цифровых двойников, которая призвана объединить имитационные модели технических систем, отраслевые базы знаний, аналитические данные о критических состояниях изделий и обеспечить проектирование и анализ реальных устройств на построенных цифровых образах. В диссертации *Исаевой Ольги Сергеевны* основное внимание уделено созданию технологии интеллектуального имитационного моделирования и анализа функционирования бортовых систем, реализующей и развивающей теорию и построения и применения цифровых двойников сложных технических систем; по этой теме формулируются выводы и рекомендации, которые служат повышению эффективности проектирования, разработки и испытаний бортовой аппаратуры космических аппаратов. Поэтому рецензируемая диссертационная работа представляется весьма актуальной.

2 Общая характеристика работы

Рецензируемая диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» и изложена на 315 страницах, включая введение, шесть глав, заключение, список использованной литературы и два приложения. Диссертация написана ясным научным языком, текст хорошо структурирован и иллюстрирован, в целом его оформление отвечает требованиям, предъявляемым к квалификационным работам.

Во *введении* охарактеризовано состояния дел и проблематика в области проектирования, изготовления и испытаний бортовых систем космических аппаратов, сформулированы цель и задачи исследования.

В *первой* главе в результате анализа системной проблемы повышения эффективности поддержки проектирования и испытаний бортовых систем космических аппаратов обоснована необходимость цифровой трансформации, обеспечивающей перенос итерационных процессов проектирования бортовых систем и выполнения дорогостоящих натурных испытаний на цифровые модели.

Вторая глава посвящена формированию представления об интеллектуальной имитационной модели функционирования бортовой системы. Основным достижением здесь является выявление и разработка совокупности методов, обеспечивающих эффект появления цифровых двойников бортовых систем.

В *третьей* главе развивается и формализуется сценарный метод испытаний, определяющий правила порождения испытательных процедур и алгоритмы их интерпретации. В целом глава посвящена конкретизации метода имитационных вычислительных экспериментов применительно к задаче анализа функционирования и испытаний бортовых систем.

Четвертая глава представляет результаты разработки новой основанной на имитационных моделях технологии поддержки процессов проектирования и испытаний бортовой аппаратуры космических аппаратов. Основной

результат – раскрытие механизмов интеграции интеллектуальных, информационных и графических методов описания жизненного цикла бортовых систем на основе концепции цифровых двойников.

В *пятой* главе представлены проектные решения, положенные в основу проблемно-ориентированной системы для построения базовых компонент цифровых двойников бортовой аппаратуры командно-измерительных систем космических аппаратов.

Шестая глава освещает разработку проблемно-ориентированной системы, автоматизирующей процессы подготовки и проведения испытаний бортовых систем, и демонстрирует порядок применения этой системы при разработке и испытаниях бортовой аппаратуры командно-измерительных систем космических аппаратов. Отдельным важным результатом является анализ эффективности применения предложенной в диссертации технологии проектирования, разработки и испытаний бортовой аппаратуры.

В *заключении* О.С. Исаевой подведены итоги диссертационного исследования путём перечисления и краткой характеристики основных выводов и полученных результатов.

Список использованной литературы, включающий 360 наименований, отражает современное состояние дел в исследуемой проблемной области.

В *приложениях* приведены копии свидетельств о государственной регистрации большого числа программ для ЭВМ и акты внедрения программного обеспечения и других результатов диссертационного исследования в АО «Информационные спутниковые системы им. академика М.Ф. Решетнёва», а также в Сибирском федеральном университете.

3 Основные научные результаты и их значимость для науки и практики

Рецензируемое диссертационное исследование выполнено в парадигме научного направления «Системный анализ, управление и обработка информации». Получен ряд новых значимых научных результатов, к числу которых следует отнести:

- формализованное понятие интеллектуальной имитационной модели функционирования бортовой системы, которое предполагает интеграцию баз знаний, программно-математических моделей и данных натурных наблюдений на основе единого семантического представления элементов бортовой аппаратуры;
- методы построения интеллектуальных имитационных моделей на основе эвристического поиска и программ испытаний, а также методы анализа таких моделей;
- методы анализа функционирования бортовых систем, предусматривающие построение и контроль сценариев испытаний, имитацию устройств, проведение испытаний и анализ результатов;
- технологию поддержки проектирования и испытаний бортовых систем космических аппаратов, объединяющую интеллектуальные, информационные и графические методы построения и применения методологии цифровых двойников.

При этом большая часть научных результатов включает формальное и алгоритмическое описание, позволяющее применять его как для системного моделирования, так и практической реализации цифровой поддержки жизненного цикла сложных технических систем. Предложенные модели обладают свойством гетерогенности, основанные на них методы расширяют существующие принципы построения систем искусственного интеллекта, усовершенствуют и рационализируют подходы к автоматизации испытаний.

4 Степень обоснованности и достоверность основных научных результатов

Достоверность полученных научных результатов и выводов подтверждается правильным выбором и корректным применением существующих методов теории системного анализа, обоснованием и экспериментальной проверкой выдвинутых новых утверждений, их сопоставлением с актуальным состоянием работ в исследуемой области.

Результаты работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ (21 публикация) и международных изданиях, индексируемых в Scopus, Web of Science (18 публикаций). Работа прошла всестороннюю апробацию на различных научно-практических конференциях по профилю специальности.

5 Значимость результатов исследования

Значимость результатов для науки заключается в создании новых научно-обоснованных технологических решений, содержащих взаимосвязанный комплекс моделей и методов цифровой поддержки высокотехнологичного производства бортовой аппаратуры, эффективность которых обеспечивается синергетическим эффектом слияния интеллектуальных, информационных и графических методов моделирования и анализа функционирования сложных технических систем. Новые технологические решения развивают технологии цифровой трансформации производств на основе концепции цифровых двойников; внедрение этих решений вносит значительный вклад в развитие космической отрасли страны.

Практическое значение результатов работы определяется тем, что они позволили создать проблемно-ориентированное программное обеспечение «Программно-математическая модель бортовой аппаратуры командно-измерительной системы космического аппарата» и «Программное обеспечение контрольно-проверочной аппаратуры командно-измерительной системы космического аппарата», которые не только повышают качество и эффективность цифровой поддержки производства бортовой аппаратуры космических аппаратов на этапах проектирования и испытаний, но и содержат инструменты подготовки и повышения квалификации инженеров-конструкторов для предприятий космической отрасли.

Результаты диссертации нашли применение при организации производства бортовой аппаратуры командно-измерительных систем космических аппаратов в АО «Информационные спутниковые системы» имени

академика М.Ф. Решетнёва» и используются для проведения исследований и обучения в Сибирском федеральном университете.

6 Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в организациях, планирующих и осуществляющих цифровую поддержку высокотехнологичного производства. Предложенная технология сопровождения жизненного цикла высокотехнологичной продукции на основе комплекса интеллектуальных, информационных и графических методов прежде всего должна заинтересовать компании, занимающиеся разработкой и производством бортовой аппаратуры космических аппаратов, а также предоставляющие услуги по настройке и испытаниям отдельных устройств и комплексов систем, важную роль в работе которых играет командно-программное управление. Пример такой компании - АО «РКЦ «Прогресс» (г. Самара).

Можно рекомендовать использование результатов в учреждениях высшего образования при подготовке специалистов в сфере приборостроения и информационных технологий.

Целесообразно продолжить начатую в диссертационном исследовании работу по расширению функциональности интеллектуальных имитационных моделей – включению в них инструментов сбора и анализа больших данных, интеграции с технологиями промышленного интернета вещей, дополнению их инструментами переносимости и повторного использования.

7 Замечания по работе

- Приведённые в работе методы адресуются к задачам моделирование бортовых систем космических аппаратов. В какой мере они пригодны для моделирования бортовой аппаратуры других сложных транспортных систем? В чем проявляется специфика предложенных методов и технологии?

- В работе исследуются и моделируются причинно-следственные явления в бортовой аппаратуре космических аппаратов, но практически не упоминается такой важный момент, как разворачивание этих явлений во времени. Остаётся неясным, являются ли предложенные в работе решения системами жёсткого или мягкого реального времени.
- В работе недостаточно освещены методы формирования когнитивного образа объекта исследования и его применение в процессах анализа данных и знаний. Когнитивная визуализация могла быть использована как для анализа логико-функционального поведения исследуемых систем, так и для описания процессов обработки телеметрической и другой информации, поступающей от испытываемых устройств.
- Приведённые в работе блок-схемы, хотя и выполнены по ГОСТ 19.701-90, но не эргономизированы. Несмотря на то, что в рассматриваемой предметной области распространён улучшенный в плане восприятия способ представления алгоритмов – визуальный алгоритмический язык программирования и моделирования ДРАКОН, – в работе он не используется. Подобными качествами обладают и диаграммные техники UML, возможности которого в диссертации отмечаются, но свой выбор диссертант не мотивирует.
- Неясно, что в прагматическом плане (для построения имитационных моделей, для проведения имитационных экспериментов и т.п.) дало диссертанту построение онтологии, объединяющей описание проблем «поддержки жизненного цикла бортовых систем, задачи и методы их решения в составе новой технологии» (глава 4).

8 Заключение

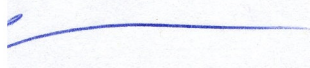
Рецензируемая диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, где полученные результаты соответствуют поставленной цели и задачам исследования. Диссертация О.С. Исаевой содержит новые научно обоснованные технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны. Новые научные

результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для развития методов системного анализа и моделирования сложных технических систем.

Рецензируемая диссертация отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней» ВАК Министерства образования и науки РФ, утверждённого постановлением правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 11.09.2021), предъявляемым к научным работам на соискание учёной степени доктора технических наук, а её автор, *Исаева Ольга Сергеевна* заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации.

Диссертационная работа О.С. Исаевой была представлена на совместном семинаре ИПУСС РАН – СамНЦ РАН и Самарского университета «Онтология проектирования» и рассмотрена с утверждением настоящего отзыва на заседании научно-технического совета лаборатории анализа и моделирования сложных систем ИПУСС РАН – СамНЦ РАН 17 января 2022 года, протокол №1.

Отзыв составлен главным научным сотрудником д.т.н. Смирновым С.В. (специальность 2.3.1).


Сергей Викторович Смирнов

почтовый адрес: 443020, г. Самара, ул. Садовая, 61

телефон: +7 (846) 333 27 70

адрес электронной почты: smirnov@iccs.ru

Директор ИПУСС РАН – СмНЦ РАН Боровик С.Ю. и Смирнов С.В. согласны на обработку персональных данных в диссертационном совете 24.2.403.01, созданного на базе ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва».

*Подпись Смирнова С.В. заверяю
старший специалист
отдела кадров*

Боровик Н.В.

