

ОТЗЫВ

официального оппонента Легалова Александра Ивановича
на диссертацию Исаевой Ольги Сергеевны
на тему «Технология интеллектуального имитационного моделирования
и анализа функционирования бортовых систем космических аппаратов»
на соискание учёной степени доктора технических наук
по специальности 2.3.1 – Системный анализ,
управление и обработка информации

Применение космических аппаратов (КА) является одним из основных направлений развития больших технических систем, что обуславливается эффективностью их использования при решении разнообразных народнохозяйственных задач. Создание таких аппаратов требует тщательного учёта и проработки не только их подсистем, обеспечивающих непосредственное функционирование, но и дополнительных конструкций, направленных на удовлетворение требований предметных областей. Разнообразие задач проектирования и необходимость учёта множества критериев предъявляют особые требования как к процессам разработки, так и к срокам создания космических аппаратов. Это ведёт к поиску перспективных подходов и методов, обеспечивающих разработку и создание КА. В связи с этим актуальность работы Исаевой О.С., посвящённой повышению эффективности проектирования, разработки и испытаний бортовой аппаратуры за счёт создания технологии интеллектуального имитационного моделирования и анализа функционирования бортовых систем космических аппаратов на основе концепции цифровых двойников, не вызывает сомнений. Для достижения указанной цели автор решает ряд задач, которые логически обоснованы и направлены на достижение искомого результата.

Решение поставленных задач представлено в диссертации, которая состоит из 6 разделов, содержит 296 страниц основного текста и 6 приложений. Результаты работы опубликованы в 65 печатных работах, из которых 21 публикация в журналах из перечня ВАК, 18 – в SCOPUS и Web of Science.

В ходе анализа проблемы поддержки процессов проектирования, разработки и испытаний бортовых систем космических аппаратов на основе концепции цифровых двойников проведён обзор существующих схем проектирования, создания и испытания бортовой аппаратуры. Показано, что существующие подходы слабо формализованы и не везде используют имитационное моделирование, обеспечивающее повышение эффективности

решений. Приведены достоинства использования интеллектуального имитационного моделирования на основе цифровых двойников.

Также в работе приведён подробный обзор методов и подходов, используемый для построения как имитационных, так и программных моделей, которые могут использоваться для решения поставленных задач. Рассмотрены примеры использования этих средств в различных предметных областях и их применимость к решению поставленных задач. Наряду с инструментальными средствами рассмотрены и методы искусственного интеллекта, применяемые при моделировании сложных технических систем. Также приведены соответствующие примеры использования таких систем и области их применения. Подтверждена актуальность использования подходов и методов для интеллектуального моделирования КА.

Для определения места цифровых двойников, предлагаемых в работе, проведён анализ методов испытаний различных подсистем КА. Показана ограниченность этих методов и предложены новые подходы к прототипированию, а также представлению состояния и поведения физического объекта.

Во втором разделе предлагается формальное описание модели КА. В представлении модели имеются такие понятия, как подсистемы предметной области, интерфейсы между ними, связи, правила и функции, определяющие зависимости и динамику исполнения. Следует отметить, что данное описание является достаточно формальным и может использоваться не только для представления КА. Наряду с этим приводятся варианты использования данной модели для формирования различных представлений, а также решения задач моделирования, анализа и проектирования. Представлена базовая систематизация по функциональному назначению, позволяющая рассматривать модель системы как граф, состоящий из связанных узлов, каждый из которых имеет определённое назначение. Предложенные подходы позволяют сформировать набор базовых компонент цифровых двойников и набор инструментов, на основе которых можно построить сложные модели различных систем. При этом ориентация на конкретную предметную область зависит от используемой предметно-ориентированной базы знаний. Научная новизна данного решения заключается в комплексном использовании на уровне формальной модели описания как выполняемых функций, так и правил, определяющих возможности формирования логического вывода.

В третьем разделе предлагаются методы проведения различных испытаний. Представлены назначения методов, области применения, ограничения, их описания на основе ранее предложенной формальной модели. Разработанные методы поддерживают применение цифровых двойников как

для подготовки, так и для проведения испытаний. Несмотря на, в основном, эвристическое формирование моделей подсистем КА, данные методы используют также различные подходы к интеллектуальному имитационному моделированию. Они обеспечивают эквивалентную замену ряда натурных экспериментов, обеспечивая тем самым повышение эффективности процесса разработки и создания КА. Представленные методы, базирующиеся на формальной модели, а также их общий состав, относятся к научному результату, в рамках которого предложены новые методы анализа функционирования бортовых систем.

В четвёртом разделе предлагается технология интеллектуального моделирования и анализа функционирования бортовых систем КА на основе концепции цифровых двойников. Представлена серия методов моделирования и анализа функционирования бортовых систем КА для поддержки жизненного цикла при проектировании, разработке и испытаниях. Определено место новой технологии в рамках схемы поддержки жизненного цикла. Сформирована онтология поддержки жизненного цикла бортовых систем в составе новой технологии. Описание предлагаемой технологии сопровождается использованием методов структурного анализа и проектирования. Предложенная технология также является научным результатом.

В пятом разделе предложены инструментальные средства имитационного моделирования, обеспечивающие формирование моделей и методов, предлагаемых в рамках технологии интеллектуального моделирования. Показано, что разработанное программное обеспечение выполняет графическое и имитационное моделирование на логическом уровне командно-измерительной системы КА. На мой взгляд, представленное решение следует отнести к практическим результатам работы.

В шестом разделе предлагаются архитектурные и проектные решения для создания проблемно-ориентированной системы поддержки испытаний КА с применением цифровых двойников. Реализованы предложенные в работе методы и технологии, что позволяет расширить сферу применения имитационных моделей. Полученные решения можно считать научными результатами, на основе которых сформированы определённые практические решения.

Замечания

1. Имеется избыточное дублирование актуальности и задач диссертационной работы. После первоначального описания во введении они повторяются в разделе 1.3. Вряд ли имеет смысл писать о них в той части

работы, где уже решаются задачи в соответствии с продекларированной актуальностью.

2. При обзоре методов ИИ акцент сделан на использование в различных предметных областях. В меньшей степени присутствует анализ самих методов. В частности, не охвачены нейронные сети и методы обработки больших наборов данных.

3. Изложение обзора излишне подробное и занимает значительную часть диссертации. Ряд моментов можно было описать более компактно. По результатам обзора хотелось бы видеть обоснованный выбор методов и средств, используемых при дальнейшем решении поставленных задач.

4. Построение КА – многокритериальная задача. Каждая из подсистем имеет альтернативные варианты решений, которые при различных конфигурациях могут привести к множеству близких по качеству результатов. Поэтому при формировании моделей стоит также учитывать и методы многокритериального анализа.

5. В работе не рассмотрены вопросы, связанные с сопоставлением построенных цифровых двойников с реальными подсистемами. В целом по практическим результатам представлены только средства построения моделей.

Общее заключение по диссертации

В диссертации Исаевой Ольги Сергеевны решена научная проблема повышения эффективности высокотехнологичного производства бортовой аппаратуры космического аппарата за счёт новой технологии моделирования и анализа функционирования бортовых систем, обеспечивающей целостный интегрированный подход к решению задач проектирования, разработки и испытаний космических аппаратов на основе концепции цифровых двойников, что вносит значительный вклад в развитие экономики страны и повышение её обороноспособности.

Она посвящена: формализации и постановке задач системного анализа, оптимизации управления, принятия решений и обработки информации; разработке проблемно-ориентированных систем управления, принятия решений и оптимизации технических объектов; методам и алгоритмам интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах. Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации».

Работа имеет внутреннее единство и является завершённой научно-исследовательской работой, базируется на результатах, обладающих научной

новизной и полученных лично автором, направлена на решение важнейшей народнохозяйственной задачи. Практические результаты подтверждаются актами о внедрении и свидетельствами о регистрации программного обеспечения.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Оформление автореферата и диссертации соответствует требованиям ВАК РФ.

Диссертация соответствует установленным критериям действующего «Положения о порядке присуждения учёных степеней» ВАК Министерства образования и науки РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора 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.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
профессор департамента программной
инженерии факультета компьютерных наук
НИУ «Высшая школа экономики»



Легалов Александр Иванович

Адрес организации: 109028, г. Москва, Покровский б-р, д. 11,
адрес электронной почты: alegalov@hse.ru.

Я, Легалов Александр Иванович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Исаевой Ольги Сергеевны в диссертационном совете 24.2.403.01 при Сибирском государственном университете науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнёва, и их дальнейшую обработку.

Подпись официального оппонента Легалова А.И. заверяю.

Гербовая печать

« 31 » января 2022 г.

Специалист по кадровому делопроизводству
Проконенко А.С.

