

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Шпота Дениса Александровича «Системный подход к разработке методического инструментария проектирования технических объектов с помощью модельно-ориентированного системного инжиниринга», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (в отраслях информатики, вычислительной техники и в промышленности)

### **Актуальность темы диссертационной работы**

В рамках четвертой промышленной революции и шестого технологического уклада отечественные научно-технические институты и промышленные предприятия для снижения стоимости и сокращения времени разработки технических объектов должны уметь создавать и эффективно использовать цифровые двойники (ЦД) своей продукции. Такая цифровая трансформация подразумевает преобразование процессов деятельности этапов жизненного цикла изделий (ЖЦИ) за счет внедрения методов, способов и инструментов цифрового проектирования и испытаний. основополагающим фактором успеха в этом направлении является распространение, изучение и внедрение подхода модельно-ориентированного системного инжиниринга (МОСИ) и его инструментов.

К примеру, разработка на языке SysML (инструмент МОСИ) интегральных (общих) моделей технических объектов, которые являются фундаментом для создания цифровых двойников, их анализа и эффективного управления. Использование цифровых двойников позволяет максимизировать качество, демонстрировать потенциал создаваемой продукции, проводить ее верификацию и валидацию. Проведение виртуальной верификации и валидации позволяет точно выполнить все требования, избежать издержек из-за новых итераций, необходимых для исправления невыполненных требований.

В России МОСИ (SysML) только начинает изучаться и в редких случаях опытно внедряется. Существует множество барьеров, препятствующих распространению МОСИ. Главный барьер заключается в том, что отсутствует программное обеспечение (ПО) отечественного производства для использования SysML, а приобрести ПО от иностранных разработчиков большинство ВУЗов и промышленных предприятий себе позволить не могут из-за его высокой стоимости и сложности в освоении.

Разработка методического инструментария МОСИ, реализуемого с помощью доступного ПО для широкой аудитории пользователей как MS Excel и Visio, а также гармонично улучшающего качество проектных работ в рамках текущего документно-ориентированного подхода к созданию технических объектов, позволила бы ускорить в России процессы изучения, признания, распространения и построения интегрированных цифровых комплексов управления проектными работами и цифровыми двойниками – ключевого для цифровой трансформации народного хозяйства научного направления. В этой связи диссертационная работа Шпота Д.А., посвященная разработке доступного для широкой аудитории пользователей методического инструментария проектирования технических объектов с помощью МОСИ, и его верификации и валидации на различных аспектах проектирования программно-аппаратных изделий, является актуальной.

## Рассмотрение содержания диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списков сокращений и публикаций, 8 приложений. Работа изложена на 160 страницах, содержит 23 таблицы и 60 рисунков. Список литературы включает 150 источников литературы.

Во **введении** приведена актуальность, сформулированы цель и задачи. Обозначены объект, предмет, научная новизна, теоретическая и практическая значимость. Представлены положения, выносимые на защиту, сведения о достоверности и апробации результатов, публикациях соискателя, краткое содержание работы.

В **первой главе** представлен анализ источников литературы и сформулированы недостатки и проблемы методического инструментария МОСИ (языка SysML, методики «Структурирование функции качества» («СФК») и ее метода «Дом качества» («ДК»)). Определено ПО для использования указанного инструментария.

Во **второй главе** предложен алгоритм согласованной приоритизации выходных параметров в модели «ДК», основанный на синтезе классического алгоритма приоритизации выходных параметров в модели «ДК» с количественными оценками корреляций выходных параметров, получаемых с помощью метода анализа иерархий.

В **третьей главе** предложен способ автоматизации разработки SysML-диаграмм требований и автоматизации обновления в них информации, основанный на данных из официально утвержденных отчетных проектных документов и доступного широкой аудитории пользователей программного обеспечения.

В **четвертой главе** представлена конкретизированная модель «Структурирование функции качества» (модель «усовершенствованное СФК»). Для генерирования данных этапов модели «усовершенствованное СФК» (потребностей пользователей, требований заказчика, инженерных требований, требований НТД) были разработаны алгоритмы, основанные на синтезе инструментов системного инжиниринга и МОСИ – «СФК», «ДК», SysML.

В **пятой главе** представлены верификация и валидация решений и разработок диссертационной работы, их синтез в единый методический инструментарий МОСИ. Представлен алгоритм разработки интегрированной модели технического объекта с точки зрения требований.

Верификация и валидация синтеза всех основных решений и разработок диссертационного исследования в единый методический инструментарий продемонстрирована на примере объединения разработанных моделей «ДК» с соответствующими им SysML-диаграммами требований в единое рабочее пространство, реализованное с помощью широкодоступного ПО.

В **заключении** излагаются полученные результаты, выводы и перспективы дальнейших исследований.

## Научная новизна

1. Разработан алгоритм приоритизации выходных параметров в модели «Дом качества», отличающийся усовершенствованием уже существующего алгоритма за счет применения метода анализа иерархий, обеспечивающий согласованный многопользовательский и многокритериальный анализ проектных решений для технических объектов.

2. Создан способ автоматизации разработки SysML-диаграмм требований и обновления в них данных, отличающийся более низкими трудозатратами на процессы

проектирования (включающий алгоритмы разработки баз данных требований и библиотек геометрических моделей SysML-фигур требований, автоматизированного синтеза SysML-диаграмм требований и обновления данных в диаграммах) и обеспечивающий принципиально новые методы и средства взаимодействия проектировщика с системой.

3. Разработана конкретизированная модель жизненного цикла (ЖЦ) проектирования «Структурирование функции качества», отличающаяся от классической четырехэтапной модели (с этапами планирование проектирования, проектирование продукта, проектирование процессов, проектирование производства) дополнительным этапом учитывающий требования потребителей и формализованным описанием перехода между этапами проектирования.

4. Предложен методический инструментарий проектирования технических объектов, отличающийся синтезом инструментов системного инжиниринга, модернизированных инструментов модельно-ориентированного системного инжиниринга; методики «СФК», метода «ДК» и языка SysML, реализуемых с помощью программного обеспечения, доступного широкой аудитории пользователей, обеспечивающие сквозную реализацию жизненного цикла проектирования, а также построение интегрированных средств управления проектными работами и унификации информационной поддержки жизненного цикла.

### **Обоснованность и достоверность научных результатов**

Представленные автором научные результаты являются обоснованными вследствие их верификации и валидации, проводимых в рамках различных аспектов проектирования и экспертиз опытно-конструкторских работ, связанных с космической техникой; в рамках проектирования и разработки информационной системы, в ходе которой были подтверждены требования, предъявляемые к полученным научным результатам.

Достоверность обоснована проведенным анализом в области системного инжиниринга, модельно-ориентированного системного инжиниринга и выбором современных инструментов (методов и языков) МОСИ, соответствующих цели и задачам исследования.

Результаты, полученные в рамках проведенного диссертационного исследования, прошли апробацию на всероссийских и международных научно-технических семинарах и конференциях 2015-2022 годов. По теме диссертации опубликовано 13 работ. Из них: 5 статей (3 – в журналах по Перечню ВАК РФ, 2 – в рецензируемом научном издании); 8 работ в сборниках конференций (из них 1 индексируется Scopus). Получено 1 свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ.

Постановка задач исследования осуществлялась совместно с научным руководителем. Все результаты, составляющие содержание диссертационной работы, получены автором лично.

### **Теоретическая значимость**

Предложенный способ автоматизации разработки SysML-диаграмм требований позволяет обеспечить в рамках методического и лингвистического обеспечения CALS (русскоязычный аналог CALS – информационная поддержка жизненного цикла) использование нового языка SysML широкой аудиторией пользователей. SysML-диаграммы разных типов, составляющие интегрированную (общую) модель технического объекта, являются основами для разработки цифровых двойников и их управления посредством интеграции и синхронизации таких моделей с базами данных и САПР.

Разработанный унифицированный комплекс алгоритмов генерирования данных этапов конкретизированной модели «СФК» позволяет с помощью инструментария классического системного инжиниринга и модельно-ориентированного системного инжиниринга единообразно получать, обрабатывать, анализировать, моделировать, а также приоритизировать параметры разных аспектов проектирования технических объектов, позволяет реализовать разрозненные этапы жизненного цикла как единый проект.

### **Практическая значимость**

Предложенный автором способ автоматизации разработки SysML-диаграмм требований и обновления в них информации позволяет сократить трудозатраты на указанные процессы проектирования, а также минимизировать финансовые затраты на внедрение ПО для использования современного языка SysML.

Использование инструментов (информационного обеспечения), созданных с помощью предложенных автором алгоритмов генерирования входных и выходных данных для этапов конкретизированной модели «СФК» обеспечивает снижение временных и финансовых затрат на реализацию этапов ЖЦИ.

Созданный методический инструментарий МОСИ является научной основой реализации методического, лингвистического видов обеспечения CALS-технологий и катализатором дальнейшего развития и/или разработки на их основе информационного, программного и иных видов обеспечения.

Предложенный методический инструментарий МОСИ является предпосылкой разработки цифровых двойников технических объектов и позволяет снизить финансовые затраты при их создании. Может воспроизводиться с минимальными финансовыми затратами, что в свою очередь устраняет крайне важный финансовый барьер на пути к изучению и началу использования МОСИ (SysML) широкой аудиторией потенциальных пользователей. Представленные результаты диссертационного исследования – алгоритмы с пошаговым описанием действий по их реализации позволяют с уверенностью их рекомендовать и говорить об их высокой значимости использования для обучения инжиниринговых команд современным научно-технологическим и научно-техническим основам автоматизированного проектирования с помощью методического инструментария модельно-ориентированного системного инжиниринга. Массовое изучение и использование МОСИ ускорит переход к новой цифровой парадигме проектирования технических объектов.

Практическая значимость результатов диссертационной работы подтверждается актами о внедрении результатов диссертационной работы, полученными от АО «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» и от МФТИ (НИУ). Предложенный автором методический инструментарий МОСИ использован при разработке тактико-технического задания на информационную систему автоматизированной поддержки выполнения работ по созданию спутниковой аппаратуры и ее реализации; при выполнении составной части ОКР «Разработка и изготовление высокоскоростной радиолинии для российско-белорусского космического аппарата» на этапе «Эскизный проект»; в учебно-образовательном процессе МФТИ (НИУ) для проведения: 1) курса лекций и семинаров по дисциплине «Системное проектирование космической техники», в ходе которых были спроектированы в парадигме МОСИ спутники формата CubeSat и выполнен синтез их макетов; 2) научных семинаров и мастер-классов по

изучению инструментов МОСИ (SysML, «СФК», «ДК») и их использованию в проектировании технических объектов.

Полученные результаты диссертационного исследования могут быть использованы как при проектировании новых, так и при модернизации уже существующих технических объектов из космической, авиастроительной, автомобильной, судостроительной, приборостроительной и иных смежных отраслей промышленности для обеспечения эффективной информационной поддержки большого количества требований потребителей, заказчика, инженеров при реализации различных этапов ЖЦ проектирования.

### **Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации**

Автореферат соответствует содержанию диссертации, корректно отражает положения и выводы диссертационной работы.

### **Замечания и рекомендации по диссертации и автореферату**

1. Тема диссертации содержит такие слова как «системный подход к разработке методического инструментария проектирования технических объектов». На мой взгляд, целесообразно охарактеризовать из каких элементов и связей построен предложенный методический инструментарий модельно-ориентированного системного инжиниринга.

2. Считаю необходимым дать характеристику требований к техническим объектам, к проектированию которых, предложенный методический инструментарий модельно-ориентированного системного инжиниринга применим.

3. С учетом детальности описания результатов исследования, указанного опыта их верификации и валидации, актов о внедрении в том числе в образовательный процесс МФТИ (НИУ) – стоило бы указать в разделе «Соответствие шифру специальности», что решения и разработки диссертационной работы соответствуют пункту «5. Разработка научных основ обучения автоматизированному проектированию.».

4. Результаты диссертационной работы стоило бы представить на конференциях, посвященных непосредственно разработке САПР, цифровых двойников и видам обеспечений CALS-технологий.

5. В диссертации целесообразно было бы добавить отдельный раздел «Термины и определения».

6. На странице 105 представлен рисунок 5.10, на этом рисунке представлены введенные соискателем сокращения, но их расшифровки представлены только на странице 109 и отсутствуют в общем списке сокращений.

7. Автору удалось разработать методический инструментарий для проектирования технических объектов с помощью модельно-ориентированного системного инжиниринга, но в работе недостаточно описана информационная среда (компоненты и их взаимосвязи) для применения предложенного методического инструментария.

### **Заключение**

Диссертационная работа Шпота Дениса Александровича является законченной научно-квалификационной работой, содержит новые обоснованные решения и разработки, обладающие элементами научной новизны и в совокупности имеющие существенное практическое значение для того, чтобы, с одной стороны, сокращать затраты ресурсов и повышать качество реализации этапов ЖЦ проектирования в рамках текущего документно-ориентированного подхода, а с другой, для предоставления широкой аудитории

возможности свободно изучать и использовать инструментарий новой парадигмы проектирования технических объектов. Это несомненно будет положительно влиять на распространение и переход к столь значимой новой парадигме МОСИ для проектирования, разработки и создания технических объектов, а также способствовать ускорению развития CALS-технологий, принципиально новых программных комплексов взаимодействия разработчиков с создаваемым объектом (его цифровым двойником).

Диссертационная работа Шпотя Д.А. «Системный подход к разработке методического инструментария проектирования технических объектов с помощью модельно-ориентированного системного инжиниринга», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (в отраслях информатики, вычислительной техники и в промышленности).

**Официальный оппонент:**

Чистякова Тамара Балабековна, доктор технических наук, 05.13.07 – Автоматизация технологических процессов и производств (в том числе по отраслям), профессор и заведующий кафедрой «Системы автоматизированного проектирования и управления» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)».

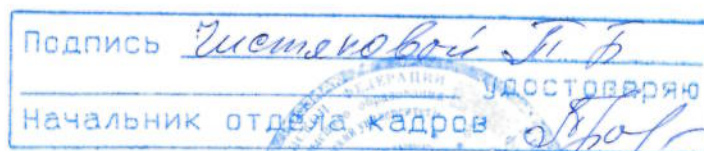
**Адрес основного места работы:**

190013, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 24-26/49 литера А  
Телефон: +7 (812) 494-9354\*2670  
Электронная почта: nov@technolog.edu.ru  
[cad\\_dept@technolog.edu.ru](mailto:cad_dept@technolog.edu.ru)

«31» августа 2022 г.



Т.Б. Чистякова



Т.Ю. Прохорова  
31.08.2022.