

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Доктора технических наук **Одинокова Сергея Анатольевича**

на диссертационную работу **Михеева Михаила Александровича** «Совершенствование подходов к организации серийного роботизированного производства малых космических аппаратов типа КУБСАТ», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства**

### Актуальность темы диссертации

Современная космическая отрасль переживает революцию, связанную с широким распространением малых космических аппаратов, и, в частности, наноспутников стандарта CUBESAT. Их компактность, относительно низкая стоимость разработки и запуска, а также короткие сроки создания открыли доступ к космосу университетам, исследовательским организациям и частным компаниям по всему миру. CUBESAT нашли применение в фундаментальных научных исследованиях, дистанционном зондировании Земли, технологическом экспериментировании, образовании и развитии коммерческих сервисов (например, IoT). Прогнозируется дальнейший значительный рост количества запусков наноспутников, формируя потребность в их серийном производстве.

Однако, существующая практика создания CUBESAT сталкивается с серьезными ограничениями, препятствующими масштабированию. Доминирование ручного труда на этапах сборки и тестирования делает процесс трудоемким, дорогостоящим и подверженным человеческим ошибкам. Отсутствие специализированных, высокоавтоматизированных производственных решений, адаптированных к микро-масштабам и специфике сборки космической электроники и механики, является ключевым технологическим барьером. Конструкции CUBESAT, как правило, не оптимизированы для автоматизации, что делает попытки роботизации фрагментарными и неэффективными.

Актуальность диссертационной работы определяется тем, что существует острая необходимость в преодолении сложившегося противоречия между растущим рыночным спросом на массовое производство наноспутников и отсутствием адекватных, комплексных организационно-технологических решений по серийной роботизированной сборки аэрокосмической техники.

Входящий № *206-5080*  
Дата **09 ИЮН 2026**  
Самарский университет

## **Научная новизна диссертационной работы**

Научная новизна диссертационной работы связана с постановкой цели и задач исследования, содержит научные результаты в области управления качеством и включает следующие положения.

Методика оценки технологичности конструкции малых космических аппаратов nano класса под возможности роботизированной сборки, включающая усовершенствованный алгоритм оценки технологичности конструкции под возможности роботизации, отличающаяся от существующих тем, что разработаны новые критерии оценки технологичности конструкции для малых космических аппаратов nano класса типа CUBESAT с учетом особенностей при серийной роботизированной сборке

Свод требований и ограничений (классификатор) к конструкциям малых космических аппаратов nano класса типа CUBESAT, адаптированных под роботизированную сборку, отличающийся от существующих новыми группами конструктивных, технологических требований и ограничений к конструкции, а также требований и ограничений к технологическим операциям.

Методика проектирования интеллектуальных роботизированных производственных ячеек, являющаяся частью общего процесса организации производства, отличающаяся от существующих созданием цифрового двойника ячейки для отработки рациональных технологических решений и написание управляющих программ для робототехнического оборудования.

Структурно-функциональная модель функционирования интеллектуальных роботизированных производственных ячеек, включающая разработанную организационную структуру команды проекта по созданию интеллектуальных роботизированных производственных ячеек и отличающаяся от существующих действиями, являющимися отличительными особенностями роботизированного производства ракетно-космической техники.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов, сформулированных в диссертации**

Достоверность и обоснованность выводов и рекомендаций, представленных в диссертации, подтверждена теоретическими и практическими результатами внедрения. Теоретические исследования базируются на широком списке литературных источников, а также подтверждаются практическим применением. Выводы, представленные в диссертационной работе, основаны на проверенных методах и подтверждаются проверкой выдвинутых положений на практике.

Результаты исследований докладывались и были одобрены на научно-практических конференциях и опубликованы в научных изданиях, рекомендованных ВАК.

### **Значимость результатов, полученных в диссертации**

Научная ценность работы заключается в создании научно-практического инструментария разработки и внедрения организационно-технологических решений серийного роботизированного производства малых космических аппаратов nano класса типа CUBESAT.

Предложенные научно-технические решения были реализованы на практике в ООО «ТЕСВЕЛ» и ООО «РСК», что подтверждается актами внедрения. Использование результатов диссертационного исследования на практике ООО «ТЕСВЕЛ» позволило сократить трудоемкость проектирования интеллектуальных роботизированных производственных ячеек в среднем на 30%.

### **Оценка содержания диссертации и ее оформления**

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы. Текст диссертации изложен на 183 страницах машинописного текста, содержит 60 рисунков, 61 таблицу; список литературы включает 79 наименований.

Во введении приведена актуальность темы, сформулированы объект, предмет и методы исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту. Отмечена новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

Первая глава посвящена теоретическому анализу подходов к роботизированному производству CUBESAT. Аудит производственного процесса в данной работе показал, что до 45% общей трудоёмкости сборки аппарата составляют ручные операции, требующие высокой квалификации исполнителей. В результате показано, что такая зависимость делает традиционные методы технологически несостоятельными для перехода к серийному производству, поскольку они не обеспечивают необходимой повторяемости, предсказуемости и контроля качества.

В выводе первого раздела обобщается, что традиционные организационно-технологические методы сборки CUBESAT достигли предела своей эффективности. Доказывается, что для перехода к серийному производству необходим комплексный подход, включающий перепроектирование конструкций CUBESAT с учетом требований автоматизации и цифровизации, разработку специализированных интеллектуальных робототехнических комплексов, реорганизацию производственных участков и подготовку кадров.

Во второй главе был разработан инструментарий для проектирования конструкций малых космических аппаратов типа CUBESAT, адаптированных к серийной роботизированной сборке.

Основой разработанного инструментария стала методика оценки технологичности. Это методика, которая включает в себя усовершенствованный алгоритм оценки

технологичности конструкции под возможности роботизации, отличающаяся от существующих тем, что разработаны новые критерии оценки технологичности конструкции для малых космических аппаратов nano класса типа CUBESAT с учетом особенностей при серийной роботизированной сборке, состоящая из 8 коэффициентов. На их основе был разработан интегральный показатель технологичности конструкции. На его основе была сформирована следующая шкала оценок и рекомендуемых действий.

Далее в главе был разработан полный алгоритм оценки, состоящий из действий от сбора входных данных (CAD-модели, документация) до формирования отчета с рекомендациями. На основе выявленных проблем (нестандартные интерфейсы, "слепые" зоны) были сформулированы рекомендации по повышению технологичности. Для демонстрации практической адаптации конструкции был проведен анализ на примере российского МКА «АИСТ-СТ». В работе предложены конкретные решения адаптации конструкции: переход к несущим панелям, унификация крепежа, разработка базовых плат для замены кабельной сети и создание специализированной оснастки для роботизированной сборки. Далее, в диссертационном исследовании был разработан свод требований и ограничений к конструкциям, адаптированных под возможности роботизированной сборки и требования, ограничения к технологическим процессам, применяемых при роботизированной сборке МКА НК типа CUBESAT.

Данная классификация является практическим инструментом для системного проектирования конструкции МКА и интеллектуальных роботизированных производственных ячеек, где каждое требование коррелирует с конкретным ограничением, что позволяет находить оптимальные инженерные компромиссы на ранних этапах разработки.

В третьей главе были разработаны решения по созданию инструментария для организации интеллектуальных роботизированных производственных ячеек (ИРПЯ) для высокоточной сборки CUBESAT. Была разработана методика организации ИРПЯ, базирующейся на пяти ключевых принципах: конструктивно-технологическая преемственность, модульность и гибкость, интеллектуальность на всех уровнях, беспрецедентная точность и интеграция с системами верхнего уровня (MES). Был определен минимальный состав ИРПЯ, для выполнения сборочных операций МКА НК типа CUBESAT. Для организации таких ячеек в первую очередь был разработан алгоритм проектирования ИРПЯ, состоящий из 16 последовательных шагов. Результатом его применения стала спроектированная ИРПЯ сборки малого космического аппарата nano класса типа CUBESAT «АИСТ-СТ», адаптированного под роботизированную сборку.

Далее была сформирована целевая функция, основанная на минимизации трудоемкости выполнения операций за счет внедрения ИРПЯ. Применение общей целевой функции позволяет непосредственно оценивать эффект от внедрения интеллектуальных

производственных ячеек в терминах экономии живого труда, учитывать все составляющие трудозатрат, принимать обоснованные решения о целесообразном уровне роботизации при заданных бюджетных ограничениях.

Для организации производства была разработана структурно-функциональная модель функционирования интеллектуальной роботизированной производственной ячейки, обеспечивающих быструю переналадку и кастомизацию производственных участков. Так же была разработана структура проектной команды и описано взаимодействия сотрудников этой команды между собой. В результате в третьей главе был разработан комплексный инструментарий организации ИПЛЯ для сборки CUBESAT, включая методику, алгоритмы проектирования ИПЛЯ и структурно-функциональную модель функционирования интеллектуальной роботизированной производственной ячейки.

В четвёртой главе представлена практическая апробация и внедрение разработанных инструментариев. На базе лабораторного комплекса «Киберфизической фабрики производства малых космических аппаратов» была реализована концепция матричного производства, состоящая из 7 специализированных участков, образующих замкнутый производственный цикл.

На созданном функциональном прототипе ИПЛЯ успешно выполнены ключевые операции сборки типового CUBESAT. Достигнута точность позиционирования в пределах  $\pm 20$  мкм и повторяемость операций на уровне 99.5%. Сравнительный анализ показал, что внедрение технологии при серийности от 50 шт./год позволяет снизить себестоимость сборки до 40% и сократить время цикла сборки в 2-3 раза по сравнению с ручными методами.

Экспериментальная апробация подтвердила эффективность разработанных решений: достигнута высокая точность сборки, сокращены время и стоимость производства, что доказывает готовность технологии к серийному внедрению.

В заключении изложены основные результаты и выводы исследования, подтверждающие положения, выносимые на защиту, определены перспективы дальнейшего изучения проблемы.

Основные результаты демонстрируют высокое качество выполнения диссертационной работы. Оформление диссертации соответствует предъявляемым требованиям к кандидатским диссертациям.

#### **Оценка степени завершенности диссертации, соответствия публикаций, автореферата основным положениям диссертации**

Представленная диссертационная работа Михеева М.А. является завершенной научно-квалификационной работой. Основные положения диссертационного исследования опубликованы в 13 научных работах, из которых 6 статей опубликованы в рецензируемых

научных изданиях, рекомендованных ВАК России, получено 4 патента на изобретения и полезные модели. Материалы исследований доложены и одобрены на научно-практических конференциях. В опубликованных работах изложены основные результаты, как теоретических исследований, так и практического применения.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, дает целостное представление о диссертационном исследовании.

#### **Соответствие содержания диссертационной работы паспорту специальности**

Области исследований рассматриваемой диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 2.5.22 «Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства» по следующим пунктам:

п.5. «Методы оценки качества объектов, стандартизации и процессов управления качеством»;

п.17. «Разработка и научно-практическое развитие инструментов бережливого производства, синхронизации в производственных системах, оптимизации процессов и рабочих мест»;

п.23. «Разработка и совершенствование методов и средств планирования и управления производственными процессами и их результатами».

#### **Замечания и вопросы по диссертационной работе**

1. На рисунке 2.1 представлены коэффициенты оценки технологичности конструкции, в том числе коэффициент унификации компонентов. В каких единицах проводится его расчет, если в графе «пример расчета, значение» указана величина «больше 100»?

2. В чем состоит принципиальное различие таблиц 2.6 и 2.12 с представленными там интерпретациями результатов?

3. В главе 3 диссертации имеются ошибки в обозначении первой цифры пунктов и подпунктов при правильной нумерации в оглавлении.

4. Какие действия включает в себя п.11, озаглавленный как «Подготовить схемы расположения оборудования» в представленном алгоритме Интеллектуальной Роботизированной Производственной Ячейки на странице 118, если уже в п.5 данного алгоритма указано «Определить и сформировать технологическую планировку», а в п.10 «Составить схемы подключения оборудования»?

5. Почему в Структурно-функциональной модели функционирования интеллектуальной роботизированной производственной ячейки на стр. 133 «отгруженная заказчику партия» остается внутри блока «Производство»?

6. Было бы интересно более подробно узнать, как осуществляется валидация для малых космических аппаратов после завершения «Проектирования и разработки» согласно рисунку 3.4.

Отмеченные замечания не снижают значимости рассматриваемой диссертации Михеева М.А., выполненной на высоком научно-техническом уровне.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней**

Диссертация Михеева Михаила Александровича является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне. Полученные результаты полностью соответствуют целям и задачам исследования.

Диссертационная работа «Совершенствование подходов к организации серийного роботизированного производства малых космических аппаратов типа КУБСАТ» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Михеев Михаил Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.22 Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Официальный оппонент

доктор технических наук, доцент,  
профессор Образовательного центра  
Института №11, МАИ



С.А. Одинокоев

22.06.2026

Подпись д.т.н., доцента, профессора Образовательного центра Института №11  
Одинокоев С.А. заверяю:

Директор института №11 «Новые материалы  
и производственные технологии», МАИ  
к.т.н., доцент



А.В. Беспалов

Одинокоев Сергей Анатольевич, докторская диссертация защищена по специальности 2.5.22 Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «ФГАОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва»

125993, г. Москва, ул. Оршанская, д. 3, корп. «А», ауд. 522

E-mail: mai@mai.ru

Телефон: +7 499 158-92-09