

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Кандидата технических наук Ларина Сергея Николаевича

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

Сегодня в космической отрасли происходят кардинальные изменения, вызванные повсеместным внедрением малых космических аппаратов, особенно наноспутников формата CUBESAT. Их небольшие размеры, невысокая цена разработки и выведения на орбиту, а также быстрое создание позволили университетам, научным институтам и частным фирмам по всему миру получить доступ к космосу. CUBESAT применяются в фундаментальной науке, мониторинге Земли из космоса, отработке новых технологий, образовательных программах и коммерческих. Ожидается, что число запусков наноспутников будет стремительно расти, что, в свою очередь, создаёт спрос на их серийное изготовление.

Однако текущие подходы к созданию CUBESAT сталкиваются с серьёзными проблемами, не позволяющими нарастить объёмы выпуска. Преобладание ручного труда при сборке и проверке аппаратов делает процесс медленным, затратным и чреватым ошибками из-за человеческого фактора. Ключевым технологическим препятствием остаётся отсутствие специализированных, высокоавтоматизированных производственных линий, приспособленных к микроскопическим размерам и особенностям сборки космической электроники и механики. Сами конструкции CUBESAT, как правило, не рассчитаны на автоматизацию, из-за чего попытки внедрить роботов дают лишь частичный и неэффективный результат.

Таким образом, актуальность данной диссертации обусловлена необходимостью разрешить явное противоречие: растущий рыночный запрос на массовый выпуск наноспутников сталкивается с отсутствием комплексных организационных и технологических решений для их серийной роботизированной сборки в аэрокосмической промышленности.

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.

Входящий № *207-5089*
Дата **09 ИЮН 2026**
Самарский университет

Методика, позволяющая оценить, насколько конструкция малых нано-класса космических аппаратов типа CUBESAT приспособлена к роботизированной сборке. В составе методики — усовершенствованный алгоритм такой оценки. Её отличие от существующих аналогов заключается во введении новых критериев, учитывающих особенности серийного производства наноспутников с использованием роботизированных операций.

Свод требований и ограничений (классификатор) для конструкций малых космических аппаратов нано класса типа CUBESAT, ориентированных на автоматизированную роботизированную сборку. Отличие данного свода от известных решений состоит во введении новых категорий: во-первых, это конструкторские и технологические требования к устройству спутника; во-вторых, это ограничения и требования, касающиеся самих технологических операций в процессе роботизированной сборки.

Методика проектирования интеллектуальных роботизированных ячеек в рамках общей организации производства. Отличие от существующих — внедрение цифрового двойника ячейки, который используется для отработки эффективных технологических решений и разработки управляющих программ для роботов.

Структурно-функциональная модель работы интеллектуальных роботизированных производственных ячеек. Модель включает в себя авторскую организационную структуру проектной команды, отвечающей за создание таких ячеек. Отличие данной модели от существующих заключается в том, что она учитывает конкретные действия и операции, характерные именно для 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 нано 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, четырех 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 существующих подходов к роботизированному выпуску наноспутников CUBESAT. Проведённый в работе аудит технологического процесса показал, что до 45% всех трудозатрат при сборке аппарата приходится на ручные операции, требующие от исполнителей высокой квалификации. В итоге установлено, что столь сильная зависимость от человека делает традиционные методы непригодными для перехода к серийному производству, так как они не способны обеспечить нужную повторяемость операций, предсказуемость результатов и стабильный контроль качества.

В заключении первого раздела сделан вывод, что традиционные организационно-технологические методы сборки CUBESAT исчерпали свой потенциал эффективности. Обосновано, что для выхода на серийный выпуск необходим комплексный подход, включающий: переработку конструкций CUBESAT под требования автоматизации и цифровизации; создание специализированных интеллектуальных робототехнических производственных комплексов; перестройку производственных участков; а также подготовку квалифицированных кадров.

Во второй главе предложен набор инструментов для проектирования наноспутников CUBESAT, ориентированных на серийную роботизированную сборку.

Ключевым элементом этого набора стала методика оценки технологичности. Она включает усовершенствованный алгоритм, позволяющий оценить, насколько конструкция приспособлена к роботизации. Отличие от существующих аналогов — новые критерии, разработанные специально для наноспутников CUBESAT с учётом особенностей их серийной автоматизированной сборки. Методика базируется на восьми коэффициентах, на основе которых вычисляется интегральный показатель технологичности. Для него, в свою очередь, составлена шкала оценок с соответствующими рекомендациями.

Далее в главе описан полный алгоритм оценки: от сбора входных данных (CAD-модели, конструкторская документация) до формирования итогового отчёта с предложениями. На основе выявленных типовых проблем — таких как нестандартные интерфейсы и «слепые» зоны — сформулированы рекомендации по повышению технологичности.

Чтобы продемонстрировать практическую адаптацию конструкции, был проведён анализ на примере российского малого космического аппарата «АИСТ-СТ». В работе предложены конкретные пути перестройки конструкции: переход на несущие панели, унификация крепёжных элементов, разработка базовых плат взамен кабельной сети, а также создание специализированной оснастки для роботизированной сборки.

Кроме того, в диссертации разработан свод требований и ограничений к конструкциям, адаптированным под возможности роботизированной сборки, а также требования к технологическим процессам, применяемым при автоматизированной сборке наноспутников CUBESAT.

Этот классификатор служит практическим инструментом для системного проектирования как спутников, так и интеллектуальных роботизированных производственных ячеек: каждое требование жёстко связано с конкретным ограничением, что позволяет находить оптимальные инженерные компромиссы уже на ранних этапах разработки.

В третьей главе предложены инструментальные решения для создания интеллектуальных роботизированных производственных ячеек (ИРПЯ), предназначенных для высокоточной сборки наноспутников CUBESAT. Разработана методика организации такой ячейки, основанная на пяти ключевых принципах: конструктивно-технологическая преемственность, модульность и гибкость, интеллектуальность на всех уровнях, исключительная точность, а также интеграция с управляющими системами верхнего уровня (MES). Определён минимально необходимый состав ИРПЯ для выполнения сборочных операций с наноспутниками CUBESAT. В первую очередь был создан алгоритм проектирования ИРПЯ, включающий 16 последовательных шагов. В результате его применения спроектирована ячейка для сборки наноспутника «АИСТ-СТ», конструкция которого была предварительно адаптирована под роботизированную сборку.

Далее была сформулирована целевая функция, направленная на минимизацию трудоёмкости операций за счёт внедрения ИРПЯ. Использование этой функции позволяет количественно оценить эффект от внедрения интеллектуальных ячеек в виде экономии живого труда, учесть все составляющие трудовых затрат и принять обоснованное решение о рациональном уровне роботизации с учётом заданных бюджетных ограничений.

Для организации производственного процесса разработана структурно-функциональная модель работы интеллектуальной роботизированной производственной ячейки, обеспечивающая быструю переналадку и кастомизацию производственных участков. Также была создана структура проектной команды и описано взаимодействие её членов. В итоге третья глава представляет собой комплексный инструментарий организации ИРПЯ для сборки CUBESAT, включающий методику, алгоритмы проектирования и структурно-функциональную модель функционирования ячейки.

В четвёртой главе описана практическая проверка и внедрение разработанных инструментов. На базе лабораторного комплекса «Киберфизическая фабрика производства малых космических аппаратов» была реализована концепция матричного производства, включающая семь специализированных участков, которые образуют замкнутый производственный цикл.

На созданном действующем прототипе интеллектуальной роботизированной производственной ячейки (ИРПЯ) были успешно выполнены основные сборочные операции типового наноспутника CUBESAT. Достигнута точность позиционирования в пределах ± 20 мкм, а повторяемость операций составила 99,5%. Сравнительный анализ показал, что при серийном выпуске от 50 спутников в год внедрение данной технологии позволяет снизить себестоимость сборки до 40%, а также сократить длительность производственного цикла в 2–3 раза по сравнению с ручными методами.

Экспериментальная апробация подтвердила эффективность предложенных решений: обеспечена высокая точность сборки, уменьшены время и затраты на производство, что свидетельствует о готовности технологии к серийному использованию.

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 по диссертационной работе

1. Не обоснованы выбранные критерии для оценки технологичности конструкции малых космических аппаратов nano класса типа CUBESAT;
2. Нет описания, что является серийным производством малых космических аппаратов nano класса типа CUBESAT.
3. В автореферате не указаны ограничения целевой функции.

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

Кандидат технических наук, доцент

Директор ООО «Региональный инжиниринговый центр»



Подпись <u>Ларина С.Н.</u> заверяю
Начальник ОК <u>Разинский О.В.</u>
<u>Решение</u> «27.05.2026»