

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.379.05,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 19 декабря 2023 г. № 21  
о присуждении Загидуллину Радмиру Салимьяновичу, гражданину Российской  
Федерации, учёной степени кандидата технических наук

Диссертация «Совершенствование модели обеспечения качества проектирования и изготовления деталей и узлов аэрокосмических конструкций из полимерных композиционных материалов в условиях аддитивного производства» по специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства – принята к защите 16 октября 2023 года (протокол заседания № 17) диссертационным советом 24.2.379.05, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34) приказом Минобрнауки России № 379/нк от 19 апреля 2022 г.

Загидуллин Радмир Салимьянович, 27 ноября 1988 года рождения, в 2019 году окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», освоил программу магистратуры по направлению подготовки 24.04.04 Авиастроение. В 2023 году освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» по направлению подготовки 24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь». В настоящее время работает в должности ведущего инженера-конструктора отдела эксплуатации ракет космического назначения, механо-технологического и транспортного оборудования АО «Ракетно-космический центр «Прогресс».

Диссертация выполнена на кафедре производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Дмитриев Александр Яковлевич, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», доцент кафедры производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении.

Официальные оппоненты:

Панюков Дмитрий Иванович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», заведующий кафедрой транспортных процессов и технологических комплексов;

Чабаненко Александр Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, доцент кафедры инноватики и интегрированных систем качества, – дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, в своём положительном заключении, принятом на заседании кафедры технологий обработки материалов, подписанном заведующим кафедрой, д.т.н., профессором Моллером А.Б., и утверждённом проректором по научной работе и инновационной работе, д.т.н., профессором Тулуповым О.Н., указала, что диссертационная работа по актуальности, результатам, обладающим научной новизной, практической значимости и достоверности, уровню апробации и степени опубликованности соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Загидуллин Р.С., заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Соискатель имеет по теме диссертации 16 опубликованных работ, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России – 7 работ, в научных изданиях, индексируемых базой Scopus – 4 работы. Суммарный объём принадлежащего соискателю опубликованного материала по теме диссертации

составляет 5,73 п.л. Из материалов совместных публикаций лично соискателю принадлежат: разработка функциональной модели обеспечения качества деталей и узлов аэрокосмических конструкций из полимерных композиционных материалов, получаемых с использованием аддитивных технологий, основанная на применении робастных методов и подходов (развертывания функции качества (QFD), анализа видов и последствий потенциальных несоответствий (FMEA), планирования экспериментов по методу Г. Тагути); описание, формирование последовательности применения и реализация робастных методов и подходов для совершенствования системы проектирования, изготовления и испытания изделий авиационно-космической техники в условиях аддитивного производства; формирование перечня и описание дефектов деталей и узлов, получаемых технологией FDM 3D-печати; описание и реализация метода «дерева отказов» для конструкции 3D-принтера и FDM 3D-печати; проведение и обработка результатов экспериментальных исследований variability диаметра прутка специального филамента, влияния коэффициента потока на прочность напечатанных деталей и узлов из полимерных композиционных материалов, разработка способа повышения качества FDM 3D-печати за счет нивелирования variability диаметра прутка филамента. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые работы:

1. Загидуллин, Р.С. Экспериментальное исследование и способ повышения качества FDM 3D-печати за счет нивелирования variability диаметра прутка филамента / Загидуллин Р.С., Жуков В.Д., Родионов Н.В. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – Выпуск 5. – С. 265-271. (научная статья 0.875 п.л./0.625)

2. Загидуллин, Р.С. Экспериментальное исследование влияния коэффициента потока на прочность напечатанных деталей и узлов из полимерных композиционных материалов / Загидуллин Р.С., Косенкова А.В., Матвеев В.А. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – Выпуск 7. – С. 210-215. (научная статья 0.75 п.л./0,5)

3. Zagidullin, R.S. Special Aspects of Quality Assurance in the Design, Manufacture, Testing of Aerospace Engineering Products / Zagidullin R.S., Dmitriev A.Ya., Mitroshkina T.A. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Vol. 714 (2020) 012006. DOI:10.1088/1757-899X/714/1/012006. (научная статья 0.46 п.л./0,23)

4. Zagidullin, R.S. Quality Function Deployment and design risk analysis for the selection and improvement of FDM 3D printer / Zagidullin R.S., Mitroshkina T.A., Dmitriev A.Ya. // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. Vol. 666 (2021) 062123. DOI:10.1088/1755-1315/666/6/062123. (научная статья 1.155 п.л. /0.578)

На автореферат диссертации поступило 10 отзывов от организаций:

1. АО «Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева», подписан заместителем начальника направления, к.т.н. Агафоновым К.В., начальником отдела, к.т.н. Лычкиным М.Т. Замечание: отсутствует дополнительный пример для апробации методики проектирования и изготовления детали или узла, например, воздуховода конструкции ракет-носителей или самолетов.

2. ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», подписан и.о. зав. кафедрой 1105 «Управления качеством и сертификации», д.т.н., доцентом Одиноким С.А. Замечание: в функциональной модели обеспечения качества отсутствует анализ измерительных систем – MSA-анализ.

3. АО «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», подписан начальником лаборатории, к.т.н. Юраневым О.А., начальником отдела температурно-статической прочности, к.ф.-м.н. Колозезным А.Э. Замечание: из текста автореферата диссертации не ясно, каким образом получен суммарный годовой экономический эффект от внедрения и использования разработанных модели и методик. Было бы полезно указать, каким образом можно будет оценить экономический эффект при внедрении предложенных технологий.

4. Филиал ПАО «Объединённая авиастроительная корпорация» – Комсомольский-на-Амуре авиационный завод имени Ю.А. Гагарина, подписан ведущим инженером, к.т.н., доцентом Физулаковым Р.А. Замечания: 1) отсутствует дополнительный пример узла самолета или беспилотного летательного аппарата для апробации разработанной методики проектирования и изготовления; 2) отсутствует информация о пост-обработке деталей и узлов после FDM 3D-печати.

5. ООО «Завод углеродных и композиционных материалов», подписан инженером-технологом Аблаевым А.Р., инженером по автоматизации Телюбаевым Ж.Б., генеральным директором, к.т.н. Сорокоумовым И.М. Замечание: отсутствуют снимки с микроскопа шлифа напечатанных образцов в процессе проведения экспериментальных исследований.

6. ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», подписан профессором кафедры машиностроительных технологий и оборудования, д.т.н., профессором Ивахненко А.Г. Замечание: при рассмотрении дестабилизирующих факторов не обоснованы принятые диапазоны колебаний температуры сопла экструдера (F):  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$  и колебание температуры рабочего стола (G):  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

7. Филиал АО «Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры» - «Научно-исследовательский институт стартовых комплексов имени В.П. Бармина», подписан начальником головного отдела управления системы

менеджмента качества, к.т.н. Ермаковым В.Н., заместителем генерального конструктора по обеспечению качества Яхиным Р.И., директором филиала Юргелисом А.А. Замечания: 1) Обоснование научной новизны в автореферате изложено некорректно. Научная новизна состоит не в применении в диссертации разработанных моделей, методов и методик для повышения качества изделий, а в их отличии от ранее разработанных подходов, что позволило диссертанту получить конкретный положительный результат; 2) В соответствии с «Методикой нивелирования («компенсации») высокого уровня вариабельности диаметра прутка филамента для обеспечения качества деталей и узлов аэрокосмических конструкций из полимерных композиционных материалов» экспериментальные исследования проведены только с прытком диаметра 1,75 мм, что ограничивает применение полученных результатов.

8. АО «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина», подписан начальником отдела научно-исследовательских работ и перспективных исследований, д.т.н., Сыроевым В.К. Замечания: 1) В разработанной методике проектирования и изготовления только упомянуто про «термосушку» филаментов перед началом 3D-печати, а стоило бы отметить ее необходимость и важность, поскольку влажность исходного материала оказывает существенное влияние на количество дефектов в процессе аддитивного производства; 2) графики зависимостей экспериментальных исследований в автореферате стоило сделать покрупнее.

9. ФГАО ВО «Академия стандартизации, метрологии и сертификации», подписан директором Самарского филиала, д.т.н., профессором И.К. Андрончевым. Замечание: отсутствуют стандарты при выборе основных технологических параметров FDM 3D-печати для проведения планирования экспериментов по методу Г.Тагути.

10. ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», подписан профессором кафедры автоматизации и управления, руководителем иркутского филиала Ассоциации по сертификации «Русский регистр», д.т.н. Лончих П.А. Замечания: 1) автор пишет в «задачах исследования» о применении робастных методов. Однако в ходе самого автореферата соискатель никак не объясняет мотивацию применения робастного метода исследования. А следовало бы указать, что робастные методы в данном случае объективны необходимы, поскольку большинство возмущающих факторов в предлагаемом производстве являются неуправляемыми, что подтверждается стандартом ГОСТ Р ИСО 16336-2020 «Статистические методы. Применение к новым технологиям в процессе разработки продукции. Робастное параметрическое проектирование (RPD)»; 2) Работа соискателя связана, прежде всего, с моделью обеспечения качества в условиях аддитивного производства. На наш взгляд, было бы корректным сослаться на то, что широкое употребление понятия «Аддитивное производство» получило в 2009 году, когда международное американское сообщество

по испытанию материалов (англ. ASTM International) издало стандарт ASTM F2792, посвященной терминологии в области аддитивного производства.

В отзывах с замечаниями отмечено, что указанные недостатки не являются определяющими, частично носят дискуссионный характер и в целом не снижают высокой оценки работы. Во всех отзывах отмечено, что диссертация соответствует требованиям ВАК Минобрнауки России, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и сделано заключение о возможности присуждения Загидуллину Р.С. учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их опытом и знаниями в области темы диссертации, что подтверждается их публикациями. Д.т.н., доцент Панюков Д.И. является специалистом в области анализа рисков. К.т.н., доцент Чабаненко А.В. является специалистом в области аддитивных технологий и цифровых технологий в управлении качеством.

Выбор федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, в качестве ведущей организации обосновывается степенью компетентности его научных сотрудников в области управления качеством и организации производства и стандартизации. Сотрудники ведущей организации имеют публикации, близкие к теме диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны:**

– функциональная модель обеспечения качества деталей и узлов аэрокосмических конструкций из полимерных композиционных материалов, получаемых с использованием аддитивных технологий, основанная на применении робастных методов и подходов (развертывания функции качества (QFD), анализа видов и последствий потенциальных несоответствий (FMEA), планирования экспериментов по методу Г. Тагути), отличающаяся одновременным применением экспертного параметрического проектирования характеристик деталей и узлов и процесса FDM 3D-печати и аналитического моделирования, позволяющего валидировать результаты проектирования;

– усовершенствованная методика анализа видов и последствий потенциальных несоответствий процесса 3D-печати, позволяющая комплексно анализировать 3 взаимосвязанных этапа: этапы проектирования, предпечатной подготовки и 3D-печати. На этапе предпечатной подготовки введен новый элемент функционирования этапа процесса – структура 3D-модели, которая позволяет учитывать причины

появления несоответствий построения «архитектуры» деталей и узлов;

- новые шкалы баллов значимости и возникновения несоответствия с учетом особенностей аддитивного производства;

- новая экспериментальная методика нивелирования («компенсации») высокого уровня вариабельности диаметра прутка филамента для обеспечения качества деталей и узлов аэрокосмических конструкций из полимерных композиционных материалов; разработанная методика позволила выявить новые закономерности зависимости геометрических, массовых и прочностных характеристик напечатанных деталей и узлов из полимерных композиционных материалов от технологических режимов FDM печати;

**доказано**, что наиболее оптимальный технологический режим FDM печати при вариабельности диаметра прутка филамента с 1,60 до 1,75 мм достигается при коэффициенте потока равном 115 %; при данном значении коэффициента потока достигается оптимальное сочетание геометрических размеров образцов, массы и значения предела прочности.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что:

**применительно к проблематике диссертации результативно использована** методология Всеобщего управления качеством (TQM), процессный и системный подходы, метод развертывания функции качества (QFD), анализ видов и последствий потенциальных несоответствий (FMEA), планирование экспериментов по методу Г. Тагути, методы математического моделирования, а также экспериментальные исследования с целью проверки адекватности теоретических положений;

**изложены** теоретические положения обеспечения качества изделий авиационно-космической техники на этапах проектирования, предпечатной подготовки и изготовления в условиях аддитивного производства на основе одновременного применения экспертного параметрического проектирования характеристик деталей и узлов и процесса 3D-печати и аналитического моделирования;

**раскрыты** вопросы обеспечения качества напечатанных деталей и узлов аэрокосмических конструкций из полимерных композиционных материалов на этапах проектирования, предпечатной подготовки и 3D-печати;

**изучены:**

- взаимосвязь и влияние этапов проектирования, предпечатной подготовки и 3D-печати на качество напечатанных деталей и узлов аэрокосмических конструкций из полимерных композиционных материалов;

- влияние коэффициента потока на появление дефектов (максимальных параллельных и угловых зазоров) в напечатанных деталях и узлах аэрокосмических конструкций из полимерных композиционных материалов;

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что

**разработана и внедрена в АО «Ракетно-космический центр «Прогресс»** методика проектирования и изготовления деталей и узлов аэрокосмических конструкций из полимерных композиционных материалов в условиях аддитивного производства, основанную на применении робастных подходов (развертывания функции качества (QFD), анализа видов и последствий потенциальных несоответствий (FMEA), планирования экспериментов по методу Г. Тагути), методики нивелирования («компенсации») высокого уровня variability диаметра прутка филамента в совокупности с программными системами трехмерного проектирования и инженерного анализа;

**определены:**

– требования к деталям и узлам аэрокосмических конструкций, полученных методом аддитивных технологических процессов;

– оптимальный технологический режим FDM печати деталей и узлов аэрокосмических конструкций из полимерных композиционных материалов по критерию максимального значения прочности при растяжении путем планирования экспериментов по методу Г. Тагути;

**представлены** методические рекомендации по проектированию и изготовлению деталей и узлов аэрокосмических конструкций из полимерных композиционных материалов в условиях аддитивного производства для АО «Ракетно-космический центр «Прогресс».

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** результаты испытаний напечатанных образцов из полимерных композиционных материалов получены на сертифицированном оборудовании – Zwick Z050;

**теория** построена на известных фактах и согласуется с опубликованными теоретическими и экспериментальными данными по теме диссертации и смежным отраслям;

**идея базируется** на анализе существующих подходов к обеспечению качества деталей и узлов аэрокосмических конструкций из полимерных композиционных материалов, получаемых с использованием аддитивных технологий;

**использованы** сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

**установлено** качественное и количественное соответствие авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

**использованы** современные методики сбора и обработки исходной



информации, программное обеспечение для моделирования конструкции и топологической оптимизации, в частности, программное обеспечение для анализа результатов испытания на растяжение ZWICK/ROELL; САПР КОМПАС 3D v12 со встроенным приложением APM FEM.

**Личный вклад соискателя состоит** в непосредственном участии соискателя в разработке модели и методик обеспечения качества, моделировании конструкции и проведении расчетов, участии в проведении экспериментов и интерпретации экспериментальных данных, апробации результатов исследования, подготовка основных публикаций по выполненной работе. Все результаты, выносимые на защиту, получены автором лично.

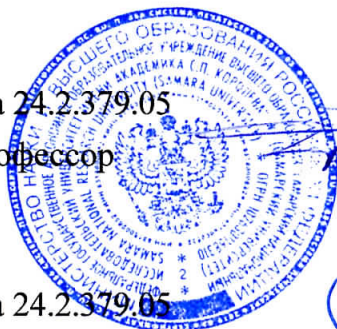
В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний.

Соискатель ответил на все задаваемые ему вопросы.

На заседании 19 декабря 2023 года диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, присудить Загидуллину Р.С. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 10 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 12 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 10, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель  
диссертационного совета 24.2.379.05  
академик РАН, д.т.н., профессор



Гречников Ф. В.

Учёный секретарь  
диссертационного совета 24.2.379.05  
д.т.н., доцент

Ерисов Я. А.

19.12.2023