

В диссертационный совет 24.2.379.05,  
созданный на базе ФГАОУ ВО  
«Самарский национальный исследовательский  
университет имени академика С.П. Королева»

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента**

доктора технических наук, доцента Панюкова Дмитрия Ивановича  
на диссертационную работу Назарова Дениса Викторовича на тему  
«Совершенствование модели обеспечения качества изготовления  
прецизионных тонкостенных деталей на примере гибких колес волновых  
зубчатых передач приводов солнечных батарей космических аппаратов»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.5.22 Управление качеством продукции. Стандартизация.  
Организация производства

### **Актуальность темы диссертации**

Повышение качества изготовления прецизионных тонкостенных цилиндрических деталей является актуальной проблемой при производстве изделий во различных отраслях машиностроения. Особенности эксплуатации в условиях космического пространства накладывают дополнительные требования по безотказности работы агрегатов и узлов. Основными направлениями развития космической техники являются минимизация габаритно-массовых параметров механизмов и увеличение периода их активной работы на орбите. В связи с этим, большой интерес представляет использование приводов с волновыми зубчатыми передачами (ВЗП), обеспечивающих большую редукцию при малой массе, высокий КПД, значительный передаваемый крутящий момент, высокую кинематическую точность. В конструкции ВЗП используются зубчатые колеса с очень малым модулем и малой толщиной обода под зубчатым венцом.

В процессе эксплуатации гибкие колеса ВЗП находятся в условиях циклической деформации от воздействия волнообразователя. Для обеспечения стабильной и безотказной работы ВЗП, важно выполнить

Входящий № 206-9118  
Дата 27 НОЯ 2023  
Самарский университет

требование по равномерности толщины обода гибкого колеса и геометрическим размерам зубчатого венца. Технологическая сложность заключается в том, что при базировании и закреплении тонкостенной заготовки в технологической оснастке, происходит ее деформирование.

Актуальность рассматриваемой диссертационной работы определена необходимостью решения задачи по повышению качества изготовления прецизионных тонкостенных деталей, входящих в конструкцию приводов космических аппаратов, путем создания моделей и методики проектирования технологической оснастки.

### **Научная новизна диссертации**

В соответствии с поставленной целью диссертационного исследования Назаровым Д. В. определяются комплексные научно-технические задачи, решение которых определяет новизну исследования. Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке подходов и инструментария повышения качества механизмов агрегатов космической техники, содержащих прецизионные тонкостенные цилиндрические детали, за счет снижает возможных рисков появления отказов, как в конструкции, так и в процессе производства. Автор обозначает задачу комплексной апробации предложенных научно-технических решений в практике предприятия по изготовлению космических аппаратов.

Среди наиболее ценных научных результатов следует выделить структурную модель обеспечения качества механизмов, содержащих прецизионные тонкостенные цилиндрические детали, основанную на применении анализа видов и последствий потенциальных отказов (FMEA) и методику проектирования технологической оснастки для базирования прецизионных тонкостенных цилиндрических деталей с управляемым перемещением закрепления, особенностью которой является возможность управлять напряженно - деформированным состоянием заготовки.

### **Научная и практическая значимость диссертации**

Значимость научных результатов диссертационной работы Назарова Дениса Викторовича определяется совершенствованием подходов к



повышению качества изготовления механизмов агрегатов космической техники.

Основным и наиболее значимым результатом работы над диссертацией является разработанная модель обеспечения качества прецизионных тонкостенных цилиндрических деталей в целом и гибких зубчатых колес в частности, основанная на применении анализа видов и последствий потенциальных отказов (FMEA). Также автор разработал математическую модель процесса функционирования рабочей поверхности оправки из материала с эффектом памяти формы (ЭПФ) при базировании прецизионных тонкостенных цилиндрических деталей с управляемым перемещением закрепления. Указанная модель позволила создать методику проектирования и расчета параметров технологической оснастки для базирования прецизионных тонкостенных цилиндрических деталей. Кроме того, усовершенствован технологический процесс нарезания зубьев на гибком колесе в условиях базирования с управляемым перемещением закрепления на оправке с рабочей частью из материала с ЭПФ. Повышение качества процесса обеспечено за счет численной модели, учитывающей деформации гибкого колеса в процессе нарезания зубьев и перемещения элементов профиля зуба, влияющие на разность шага.

Практическая значимость результатов работы определяется разработанной методикой процесса базирования с управляемым перемещением закрепления прецизионных тонкостенных цилиндрических деталей и расчета параметров технологической оснастки, а также введением в технологическую документацию рекомендаций по процессу нарезания и контроля зубьев на гибком колесе с применением технологической оснастки в условиях базирования с управляемым перемещением закрепления.

Полученные в диссертационной работе результаты прошли апробацию и внедрены в практику АО «РКЦ «Прогресс». Ежегодный экономический эффект (в 2022 г.) от внедрения предложенных решений составляет 2,7 млн. руб.

### **Общая характеристика диссертационной работы**

**Во введении** обоснована актуальность диссертационной работы, определены объект, предмет, цель и задачи исследования, изложены научная

новизна и практическая значимость работы, основные положения и результаты, выносимые на защиту.

**Первая глава** содержит обширный и подробный анализ особенностей управления качеством изготовления тонкостенных прецизионных деталей, способов их базирования в технологической оснастке. Выявление этих особенностей при помощи статистических методов управления качеством определяет постановку задач диссертации, связанных с закреплением заготовки за счёт радиального натяга, вызванного контролируемым радиальным перемещением её рабочей поверхности из материала с ЭПФ.

**Во второй главе** предложена структурная модель обеспечения качества. Она включает в себя анализ видов и последствий потенциальных отказов (FMEA) на этапе конструкторско-технологической подготовки производства. По результатам DFMEA-анализа первоначально созданной конструкции ВЗП установлен перечень потенциальных отказов и их оценка. Установленные приоритеты действий позволили разработать мероприятия, направленные на предупреждение причин возникновения отказов в конструкции ВЗП.

**В третьей главе** проведена оценка рисков потенциальных отказов финишных операций процесса механической обработки гибкого колеса ВЗП на основе методологии PFMEA. Установленные приоритеты действий позволили разработать мероприятия, направленные на предупреждение причин возникновения отказов процесса механической обработки гибкого колеса. В соответствии с этим проведено математическое и численное моделирование термосилового взаимодействия силового элемента из сплава с ЭПФ в форме втулки с обрабатываемой заготовкой гибкого зубчатого колеса.

С использованием программного обеспечения ANSYS проведено численное моделирование процесса нарезания зубчатого венца гибкого колеса при базировании на оправке с рабочей частью из материала с ЭПФ

**В четвертой главе** на основе полученной математической модели разработана методика проектирования технологической оправки с рабочей частью из материала с ЭПФ. Проведена отработка процесса базирования заготовки прецизионной тонкостенной детали в оправке в условиях производства.

Диссертационная работа изложена на 172 страницах машинописного текста, содержит 72 рисунка, 7 таблиц. Список использованных источников



состоит из 117 наименований, работа содержит два приложения. В списке использованных источников приводятся публикации автора диссертации, отражающие все результаты исследований и разработок.

Цель исследования сформулирована корректно. Задачи исследования соответствуют поставленной цели. Основные выводы и положения, выносимые на защиту, сформулированы в соответствии с фактическим содержанием диссертации и полученными результатами.

### **Соответствие автореферата диссертационной работе**

Автореферат в полной мере соответствует тексту диссертационной работы и содержит все основные результаты и выводы.

### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

Результаты диссертации Назарова Д.В. соответствуют следующим областям и пунктам исследований Паспорта научной специальности 2.5.22 Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства:

1 «Методы анализа, синтеза и оптимизации, математические и информационные модели состояния и динамики процессов управления качеством и организации производства»;

3 «Научные основы и совершенствование методов стандартизации и менеджмента качества (контроль, управление, обеспечение, повышение, планирование качества) объектов и услуг на различных стадиях жизненного цикла продукции».

### **Замечания по диссертации**

Отмечая несомненные достоинства диссертации, необходимо высказать некоторые замечания и пожелания:

1. Для повышения достоверности результатов ранжирования дефектов гибких колес при помощи диаграммы Парето (рисунок 1.4) было бы правильным собрать большее количество исходных данных (таблица 1.1), полученных по результатам диагностики волновых зубчатых передач.

2. По результатам анализа диаграммы Исикава (рисунок 1.5) сделан вывод о том, что главной причиной отклонения от геометрических параметров гибких зубчатых колес является искажение формы и геометрии заготовки, но непонятно на чем основан данный вывод, так как в диаграмме не представлен данный фактор.

3. На рисунке 2.6 представлен фрагмент бланка DFMEA. Требуют пояснения разные баллы обнаружения (D) для одинаковой меры обнаружения – «Проведение испытаний на стенде». Также непонятна предложенная мера по оптимизации конструкции – «Совершенствование технологического процесса».

4. На рисунках 3.12, 3.14, 3.16 представлены фрагменты бланков PFMEA. Требуют пояснения баллы обнаружения (D) равные 7 там, где не указана мера по обнаружению. Возможно, там пропущен контроль отказа оператором? Также вызывают вопросы очень низкие баллы D, равные 2, для остальных пар отказ-причина, где указаны меры обнаружения, отличающиеся по вероятности обнаружения отказа или его причины.

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

Диссертация Назарова Дениса Викторовича на тему «Совершенствование модели обеспечения качества изготовления прецизионных тонкостенных деталей на примере гибких колес волновых зубчатых передач приводов солнечных батарей космических аппаратов» на соискание ученой степени кандидата технических наук является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной по актуальной теме на высоком научном уровне. Результаты исследований, выводы и рекомендации обладают новизной и практической значимостью.

Диссертация удовлетворяет требованиям, предъявляемым к рукописям подобных работ. На заимствования из других источников даются соответствующие ссылки.

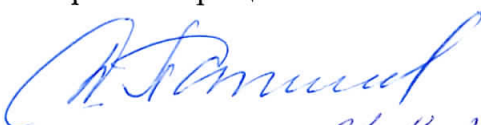
Работа содержит решение важной научно-практической задачи – повышение качества изготовления механизмов агрегатов космической техники за счет разработки и внедрения модели обеспечения качества прецизионных тонкостенных цилиндрических деталей.



Диссертация «Совершенствование модели обеспечения качества изготовления прецизионных тонкостенных деталей на примере гибких колес волновых зубчатых передач приводов солнечных батарей космических аппаратов» соответствует всем требованиям, установленным п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции), а ее автор – Назаров Денис Викторович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.22 Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

### Официальный оппонент

доктор технических наук, доцент  
заведующий кафедрой «Транспортные процессы  
и технологические  
комплексы»,  
тел. +7 (846) 333-52-90,  
email: panyukov.di@samgtu.ru

  
21.11.2023

Панюков Д.И.

Шифр специальности

05.02.23 - Стандартизация и управление качеством продукции

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Самарский государственный технический  
университет»,

Адрес: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Подпись д.т.н., доцента, заведующего кафедрой «Транспортные процессы и  
технологические комплексы» *Панюкова Дмитрия Ивановича* удостоверяю

Ученый секретарь





Ю.А. Малиновская

21.11.2023