

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук,
директора проектного комплекса «Гражданская авиационная техника»
ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского» Пухова Андрея Александровича
на диссертационную работу
Фрейлехмана Станислава Александровича
**«Формирование геометрических моделей элементов силовых конструкций
летательных аппаратов для аддитивного производства»**,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальностям 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство
летательных аппаратов».

Актуальность работы.

Задачи повышения эффективности ракет-носителей по дальности полета, а также массе, доставляемой полезной нагрузки – увеличения коэффициента полезного действия летательного аппарата требуют, в том числе, разработки процедур рационального формирования геометрических моделей элементов силовых конструкций летательных аппаратов. Использование новых инструментов получения геометрической формы силовых элементов, с использованием процедур топологической оптимизации и новые производственные технологии трехмерной печати позволяют получить новое качество при проектировании ракетной и авиационной техники.

Использование таких подходов на этапах концептуального проектирования сегодня актуальны и используются ведущими мировыми производителями при создании перспективных образцов ракетной и авиационной техники. Программно-аппаратные решения, используемые для реализации российских проектов, в большинстве своем являются продуктами зарубежного производства с закрытыми кодами. В связи с этим, принципиально важным является создание собственных методик, позволяющих определять и управлять параметрами геометрических моделей элементов силовых конструкций летательных аппаратов (ЛА), с целью получения требуемых характеристик, отвечающих ожиданиям по эффективности.

Представленная работа Фрейлехмана Станислава Александровича,

посвящена оптимальному формированию геометрических моделей элементов силовых конструкций летательных аппаратов для аддитивного производства (АП). Использование предложенной методики, позволит уже на начальных этапах разработки определять рациональные проектно-конструкторские параметры ЛА, конструктивно-компоновочную и конструктивно-силовую схемы минимальной массы при условии обеспечения заданных требований прочности. Это позволяет характеризовать тему диссертационной работы как весьма **актуальную**.

Структура диссертационной работы отображает логику исследования и подчинена решению поставленных задач. Диссертация состоит из; введения, трёх глав и заключения, содержит 170 страниц основного текста, 72 рисунка, 30 таблиц, списка литературы, включающего 94 источника и 2 приложения.

Во введении показана актуальность работы, дан краткий обзор отечественных и зарубежных исследований по теме диссертации, сформулированы цель и задачи работы, определена научная новизна, продемонстрирована теоретическая и практическая значимости результатов, обоснована достоверность полученных результатов и перечислены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертационной работы рассматриваются особенности совершенствования ракетно-космической техники, проводится их анализ, детерминирована актуальность, проводится актуальный обзор исследований по аддитивным технологиям, описываются технологическая подготовка и топологическая оптимизация, а также формализуется проблемная область. Выполнен обзор по технологиям АП, рассмотрены существующие методы получения конечного продукта методом послойного нанесения материала. Рассмотрена тенденция увеличения спроса на аддитивные технологии. Представлен подробный перечень достоинств и недостатков данного вида производства. Автором работы обозначен конкретный вид аддитивных технологий для проведения дальнейших исследований – метод селективного лазерного плавления. На примере данной технологии далее рассматриваются технические особенности данного вида производства для анализа факторов, влияющих на качество конечного продукта, выраженное в виде шероховатости поверхности

изделия.

В конце первой главы представлен подробный анализ технологической подготовки электронной модели изделия к аддитивному производству с анализом влияния ошибок и дефектов электронных моделей, наличие которых приводит к браку. После чего автор описывает технологические ограничения, представленные в виде расчета сложности изделия для последующего учета данных факторов на формирование этапов технологической подготовки АП.

Вторая глава начинается с методической основы работы. Описывается методика послойного сглаживания. Подробно изложен анализ существующих инструментов, реализуется математическая постановка задачи послойного сглаживания, определяется методика послойного сглаживания геометрии электронной модели, описывается алгоритм методики, дифференцируются критерии, проводится анализ функций сглаживания.

Третья глава описывает апробацию методики послойного сглаживания, приводится обоснование среды разработки, представлена функциональная диаграмма в нотации IDEF0, дифференцированы этапы разработки. Автором сформулированы алгоритмы разработанного программного обеспечения и функции послойного сглаживания модели, изложены принятые допущения, описана реализация и основные этапы работы с программным модулем послойного сглаживания, а также приведены примеры работы реализованного алгоритма и сравнение с проанализированными методами сглаживания в теоретической и практической интерпретациях.

В заключении приводятся результаты проведенного исследования, обозначены его перспективы.

Научная новизна работы заключается в определении области существования и применения альтернативных подходов к формированию геометрических моделей элементов силовых конструкций летательного аппарата для уменьшения их весовых характеристик; предложении методики послойного представления элементов силовых конструкций летательного аппарата, учитывающего закономерности между их конструктивно-технологическими параметрами; разработке аналитических зависимостей прогнозирования

отклонения формы реального контура синтезируемого слоя изделия на этапе технологической подготовки АП в том числе, методики и алгоритма параметрического сглаживания трехмерной топологически оптимизированной электронной модели ЛА с учетом технологических ограничений АП.

Практическая значимость работы.

Разработанный С.А.Фрейлехманом метод послойного сглаживания, который учитывает параметры АП, может быть использован при решении широкого круга прикладных задач в области формирования геометрии электронных моделей для АП силовых металлических элементов конструкции летательного аппарата.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректностью и обоснованностью допущений, принятых при разработке математической модели методики послойного сглаживания геометрии электронной модели изделия, апробированием методики послойного сглаживания геометрии; сходимостью полученных в диссертационной работе результатов с результатами экспериментов.

По работе можно сделать следующие **замечания**:

1. В диссертации представлены данные по геометрическим моделям нескольких элементов силовых конструкций ЛА, что не позволяет в полной мере визуализировать универсальность метода. Не рассмотрены альтернативные решения (методы и инструменты).

2. Продемонстрировано положительное влияние разработанной методики на сухую массу аппарата. Тем не менее, в диссертации не показано детальное обоснование полученных результатов и их прямое влияние на процесс проектирования и производства ЛА.

3. В процессе выполнения исследования диссертантом с использованием различных проектно-конструкторских и технологических решений получен большой объем фактического материала. Однако в полном объеме не детерминирована примененная методика.

4. В главе 3 «Апробация методики послойного сглаживания» приводятся результаты сравнительного анализа только с двумя известными методами (инструментами) на примере всего трех изделий. Результаты подобных исследований могут находиться в допустимой зоне погрешности.

5. В литературном обзоре нет сведений о прочих методах и технологиях, позволяющих добиться снижения сухой массы конструкции летательного аппарата, определяющих мировой научно-технический уровень в данной области.

Указанные замечания не снижают общей ценности исследовательской работы и не существенно влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

Основные результаты диссертации опубликованы в 10-ти работах, 4 из которых – в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК для публикации результатов диссертаций. Содержание диссертации свидетельствует о фундаментальности проведённого исследования. Автореферат диссертации достаточно полно отражает ключевые положения и выводы, выносимые на защиту.

Несмотря на приведенные критические замечания, диссертация имеет большую теоретическую и практическую значимости, содержит решение актуальной научно-исследовательской задачи и представляет собой завершённое исследование, а ее автор, Фрейлехман Станислав Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

Официальный оппонент
д.т.н., директор проектного комплекса
«Гражданские самолеты»
ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского»
Адрес: 125319, г. Москва, ул. Викторенко, д. 7.
Тел.: +7(499) 234-00-77
Сайт организации: <https://nrczh.ru/>
E-mail: Poukhovaa@nrczh.ru



А.А. Пухов
19.11.2020 г.

Подпись Пухова Андрея Александровича удостоверяю.

Начальник отдела кадров
(должность)



Никифоров А.С.
(Ф.И.О.)