



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной
и инновационной деятельности
доктор физ.-мат. наук, профессор

Ю. Ю. Логинов

12 сентября 2023 г.

Отзыв

ведущей организации «Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева» на диссертацию Склезнева А.А. **«Проектирование, конструкция и изготовление металлокомпозитных криогенных топливных баков для ракетно-космической техники»**, представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.13. - Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов.

Актуальность темы диссертационного исследования.

Топливные баки ракетных носителей выполняют две функции – хранение горючего и окислителя и восприятие поверхностных и массовых нагрузок. В настоящее время в ракетных носителях используются металлические криогенные топливные баки различной конструкции. В зависимости от действующих нагрузок и условий эксплуатации, они выполняются в виде гладких оболочек, оболочек, подкреплённых продольными и поперечными ребрами и оболочек с так называемым вафельным фоном. Технологический процесс изготовления металлических криогенных топливных баков обладает значительной трудоёмкостью. Многочисленные исследования, направленные на повышение весовой эффективности и уменьшение технологической трудоёмкости изготовления металлических топливных баков, не приводят к значительному совершенствованию этих конструкций. Отсутствие прогресса обусловлено тем, что применяемые металлические материалы практически достигли своего предела прочности.

Одним из путей повышения весового совершенства топливных криогенных баков перспективных ракетных носителей является применение в их конструкции полимерных композитных материалов. Эти материалы позволяют создавать оболочки криогенных баков, обладающих необходимой

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«19» 09 2023.

герметичностью и воспринимающих значительные нагрузки при полете ракетного носителя. Учитывая вышесказанное, диссертацию Склезнева А. А., посвященную созданию и отработке принципиально новых металлокомпозитных криогенных топливных баков для ракетной техники, можно признать выполненной на актуальную тему.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. Работа включает 322 страницы текста и 144 рисунка. Список литературы состоит из 200 наименований.

Во введении содержится обоснование актуальности и новизны темы, сформулирована цель и задачи исследования, изложено содержание диссертационной работы.

В первой главе представлен обзор конструкций несущих топливных баков, применяемых в ракетной технике, анализ их конструктивных и технологических особенностей. Приводится постановка задачи разработки комбинированной конструктивно-силовой схемы металлокомпозитного криогенного топливного бака с несущей оболочкой для различных условий эксплуатации.

Во второй главе рассмотрены вопросы оптимального проектирования металлокомпозитных криогенных топливных баков. Рассмотрены две задачи проектирования конструкции металлокомпозитных баков. Это проектирование металлокомпозитной ёмкости на действие внутреннего давления и проектирование сетчатой структуры для восприятия внешних нагрузок. Разработан метод оптимального проектирования металлических вафельных конструкций по условию минимума массы с ограничениями по прочности от осевой нагрузки и внутреннего давления, общей устойчивости и местной устойчивости полотна ячейки вафельной структуры.

В третьей главе разработана технология изготовления металлокомпозитных криогенных топливных баков и решены соответствующие технологические задачи. Отличительной особенностью разработанного процесса изготовления является использование тонкостенного

металлического лайнера в качестве технологической оснастки при намотке, термообработке и механической обработке бака. Для технологической подготовки производства металлокомпозитного криогенного топливного бака были решены две задачи по обеспечению устойчивости лайнера. Первая задача связана с обеспечением необходимой величины натяжения ленты в процессе автоматизированной намотки. Вторая задача связана с обеспечением устойчивости тонкостенного лайнера, заключённого в композитный слой при температурном воздействии. Также в главе решены технологические проблемы, связанные с использованием для формообразования рёбер сетчатой структуры не удаляемого после намотки конструкционного пенопласта взамен удаляемых резиновых матриц.

В четвертой главе рассмотрены задачи, связанные с эксплуатацией металлокомпозитных криогенных топливных баков. Определены коэффициенты жёсткости и коэффициент температурного расширения стенки бака, учитывающие температурную деформацию сетчатого слоя по его толщине. Найдены контактные напряжения, действующие между слоями при охлаждении бака и внутреннем давлении. Показано, что внутренний наддув бака до определённой величины практически полностью компенсирует контактные напряжения, возникающие в слоях оболочки из-за криогенных температур.

В пятой главе рассматриваются вопросы, связанные с использованием измерительных систем на основе оптоволоконных датчиков температуры и деформации, внедрённых в конструкцию модельного бака. Выполнены соответствующие испытания разработанного металлокомпозитного криогенного топливного бака. Проведённые испытания показали работоспособность внедрённых в конструкцию волоконнооптических датчиков, результаты измерений которых были подтверждены при помощи традиционных тензодатчиков и температурных датчиков, установленных на наружной поверхности бака, а также при помощи тепловизионного оборудования.

В шестой главе продемонстрировано использование разработанных методов проектирования и расчёта применительно к полноразмерным конструкциям криогенных топливных баков перспективных ракетных носителей. Было выполнено проектирование металлокомпозитного криогенного бака окислителя перспективного ракетного носителя диаметром 4.1 м и длиной 19.2 м. Проведено сравнение разработанного бака с баком вафельной конструкции из алюминиевого сплава. Результаты проектирования бака выявили снижение массы конструкции при использовании предлагаемой концепции до 34,0%. Показано, что металлокомпозитный бак обладает значительно более низкой трудоёмкостью изготовления и более высоким коэффициентом использования материалов по сравнению с традиционными конструктивными схемами.

В заключении сформулированы выводы по диссертационной работе.

Отметим основные результаты, полученные автором и определяющие научную новизну и значимость работы:

1. Разработана новая конструктивная и технологическая концепция несущего металлокомпозитного криогенного топливного бака для ракетной техники.
2. Впервые решена задача устойчивости цилиндрической оболочки при намотке гибкой системы нитей с натяжением.
3. Решена задача устойчивости тонкостенного лайнера, заключённого в композитный силовой слой при температурной обработке.
4. Впервые решена задача устойчивости лайнера бака, находящегося в жёсткой среде, от действия осевой сжимающей силы.
5. Разработана методика расчёта теплофизических свойств стенки бака в радиальном направлении, позволяющая оценить его теплозащитные свойства
6. Разработана модель оценки прочности конструкции металлокомпозитного криогенного топливного бака на всех этапах его жизненного цикла.
7. Предложен метод оптимального проектирования металлокомпозитного криогенного топливного бака с несущей оболочкой.

8. Разработана и апробирована на модельной конструкции технология изготовления криогенных металлокомпозитных топливных баков. Установлено, что трудоёмкость изготовления этих баков меньше на 50%, а коэффициент использования материалов на порядок превосходит аналогичные величины при изготовлении конструкций из металлических сплавов.

9. Разработан метод исследования напряжённо-деформированного и температурного состояния конструкции бака при помощи внедрённой в конструкцию измерительной системы на основе волоконно-оптических датчиков.

10. Создано программное обеспечение для расчёта технологических параметров, необходимых для изготовления металлокомпозитных криогенных топливных баков.

Практическая значимость диссертационной работы определяется использованием созданных методов проектирования и расчета при создании топливных баков ракетных носителей, разработчиками которых являются АО «ЦНИИСМ» и АО «ЦПР».

Достоверность результатов, полученных на основе апробированных аналитических и численных методов расчета и подтвержденных экспериментальными исследованиями не вызывают сомнений.

По работе можно сделать следующие замечания:

1. Разработанное программное обеспечение создано в среде Maple, не получившего широкого распространения на предприятиях, производящих ракетную и космическую технику.

2. В задаче о потере устойчивости цилиндрической части тонкостенного лайнера отсутствует аналогичный анализ для днища.

3. Отсутствует информация о возможности многоразового применения конструкции металлокомпозитного криогенного топливного бака и об анализе его ремонтпригодности в связи с повторным использованием.

4. В диссертации имеется ряд опечаток и некорректное использование знака частной производной.

Отмеченные замечания не ставят под сомнение общую положительную оценку работы и квалификацию автора.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертация Склезнева Андрея Анатольевича «Проектирование, конструкция и изготовление металлокомпозитных криогенных топливных баков для ракетно-космической техники», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований получены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в повышение весовой эффективности конструкций современных ракетных носителей.

Диссертация по области исследования соответствует паспорту специальности 2.5.13. – Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов, а именно пункту 3 – Создание и отработка принципиально новых конструктивных решений выполнения узлов, систем и летательного аппарата в целом, наземных комплексов и стартового оборудования. Исследование их характеристик и оценка перспектив применения.

Работа оформлена в соответствии с требованиями, установленными ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Автореферат и список публикаций полностью отражают содержание диссертации. Основные результаты работы отражены в 39 научных трудах, в том числе: 12 статьях в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК РФ; двух статьях, входящих в базу данных Scopus и трех статьях в изданиях, входящих в перечень ВАК по смежным специальностям. Одна публикация по материалам конференции проиндексирована в международной базе данных Scopus. Предложенные конструктивно-технологические решения защищены

двумя патентами РФ на изобретения и патентом РФ на полезную модель, а также пятью свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Диссертация соответствует критериям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 11.09.2021), для диссертаций на соискание ученой степени доктора наук. Автор работы Склезнев А. А. заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 2.5.13. – Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и одобрен на заседании кафедры компьютерного моделирования Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева 11 сентября 2023 г., протокол №2.

Заведующий кафедрой компьютерного моделирования ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», доктор технических наук (01.02.04. - Механика деформируемого твердого тела), профессор

Лопатин Александр Витальевич

11 сентября 2023 г.

Сведения об организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», 660037, Красноярский край, город Красноярск, проспект имени газеты «Красноярский рабочий», д. 31, info@sibsau.ru, официальный сайт: www.sibsau.ru, тел.: 8 (391) 264-00-14.

Я, Лопатин Александр Витальевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись Лопатина А.В. заверяю
Директор ИКТ СВТУ им. М.Ф. Решетнева
К.Т.Н. Зегеант

М.В. Курдюков

Сопровождаю знакомлен
19.09.2023г.

Склезнев А.А.

