Проектирование, конструкция и изготовление металлокомпозитных криогенных топливных баков для ракетно-космической техники

Склезнев А.А.

к.т.н., доцент, старший научный сотрудник АО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения», доцент каф. «Технология композиционных материалов, конструкций и микросистем» МАИ (НИУ)

e-mail: andrey.skleznev@gmail.com, https://www.researchgate.net/profile/Andrey-Skleznev-2

Рассматривается возможность применения криогенных топливных баков, выполненных из полимерных композиционных материалов с использованием анизогридных сетчатых структур и металлического герметизирующего лейнера, для ракет-носителей на жидком топливе.

Внимание уделяется вопросам методики проектирования конструкций подобного рода, разработке и апробированию технологии их изготовления, совершенствованию методов расчёта, в том числе, учёта технологических и эксплуатационных сторон задачи. Рассмотрены и решены задачи обеспечения устойчивости тонкостенного лейнера в процессе намотки с натяжением, термообработке и действии осевой сжимающей силы.

Проектные и расчётные параметры криогенного металлокомпозитного бака сравниваются с данными, полученными при экспериментальном изготовлении и испытаниях модельного бака. Также проводится сравнение с расчётными характеристиками аналогичных по геометрическим размерам баками традиционной вафельной структуры, выполненными из металлических сплавов.

В работе используются следующие, полученные автором результаты:

1 Решение задачи устойчивости цилиндрической оболочки при намотке гибкой системы нитей с натяжением, в результате которого получено универсальное выражение для критического натяжения, зависящего от радиуса, изгибной жёсткости оболочки и параметра $\lambda_{кр}^2$, расчётное значение которого составляет величину 732.

2 Решение задачи устойчивости тонкостенного лейнера, заключённого в композитный силовой слой при температурной обработке. Установлено, что критическая деформация оболочки может быть аппроксимирована соотношением $\varepsilon_{кр} = C\left(h / R\right)^{1.2}$, в котором C = 0.73.

3 Решение задачи устойчивости лейнера бака, находящегося в жёсткой среде, от действия осевой сжимающей силы. При помощи уравнений нелинейной теории цилиндрических оболочек и метода Бубнова-Галёркина получено приближённое решение, определяющее предельную величину докритической деформации лейнера бака, находящегося в жёсткой среде, от действия осевой сжимающей силы.

4 Математическая модель силовой стенки бака, позволяющая вычислить коэффициенты жёсткости и теплопроводности стенки бака, деформации и прогибы функциональных слоёв стенки бака, теплофизические свойств стенки бака в радиальном направлении.

5 Результаты исследования контактного взаимодействия между функциональными слоями силовой стенки металлокомпозитного криогенного бака интегральной конструкции, которое может привести к отслоению металлического лейнера при действии криогенных температур.

6 Новая конструктивно-технологическая концепция металлокомпозитного криогенного топливного бака с методикой проектирования и апробированной технологией изготовления.

7 Метод подтверждения напряжённо-деформированного и температурного состояния конструкции бака при помощи внедрённой в материал и конструкцию измерительной системы на основе волоконно-оптических датчиков. При этом исследованы вопросы защиты выводов измерительных систем в процессе изготовления конструкции и вопросы получения измерений в процессе эксплуатации и испытаний в режиме реального времени. Установлено, что разработанная технология размещения датчиков позволяет сохранить их работоспособными и без повреждений при термообработке и механической обработке.

Список основных работ, в которых публикуются результаты исследования:

1 Титов В.А., Юранев О.А., Разин А.Ф., Бабичев А.А., Склезнев А.А., Пшеничников И.В., Бородулин Д.А. Проектирование и изготовление криогенных металлокомпозитных топливных баков // Конструкции из композиционных материалов – межотраслевой научно-технический журнал. – 2023. – №2(170). – С. 12-20

2 Азаров А.В., Бабичев А.А., Васильев В.В., Салов В.А., Склезнев А.А. К проблеме герметичности композитных баллонов давления // Композиты и наноструктуры. – 2023. – т.15, № 1 (57). – С. 1-12

3 Склезнев А.А. Устойчивость лейнера цилиндрического металлокомпозитного бака при осевом сжатии // Конструкции из композиционных материалов – межотраслевой научно-технический журнал. – 2023. №2 (170). – С. 3-7

4 Склезнев А.А., Бабичев А.А., Разин А.Ф. Исследование взаимного влияния заготовки изделия из полимерного композиционного материала и технологической оправки друг на друга в процессе изготовления при температурной обработке // Южно-Сибирский научный вестник. – 2023. – № 1(47). – С. 56-60

5 Vasiliev V.V., Salov V.A., Skleznev A.A. Stability of an Infinitely Long Cylindrical Shell Under the External Pressure Generated by Winding Flexible Threads // Mechanics of Solids. – 2022. – Vol. 57, Issue 6. – P. 1330–1337

6 Васильев В.В., Склезнев А.А. Устойчивость лейнера цилиндрического композитного баллона давления // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2022. – № 2, т. 28. – С. 235–246

7 Анискович В.А., Будадин О.Н., Козельская С.О., Кутюрин Ю.Г., Рыков А.Н., Склезнев А.А., Гнусин П.И., Юранёв О.А. Интегрирование волоконно-оптических датчиков в композитный цилиндрический корпус из углепластика, изготовленный способом непрерывной намотки // Контроль. Диагностика. – 2022. – №2, т. 25. –С. 16–23

8 Бабичев А.А, Васильев В.В., Разин А.Ф., Склезнев А.А., Шаныгин А.Н., Фомин Д.Ю., Марескин И.В. Сопротивление композитных сетчатых конструкций ударному повреждению // Конструкции из композиционных материалов – межотраслевой научно-технический журнал. – 2021. – №3 (163). – С. 3-6