

Шахмистов В.М., Тимошенко С.Г., Кирпичёв В.А., Чернякин С.А.

**О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ РАСЧЁТА НА ПРОЧНОСТЬ
БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Баллоны высокого давления интегральной конструкции с металлическим лейнером и силовой внешней композиционной оболочкой широко распространены в изделиях ракетно-космической техники, что обусловлено их надёжной работой в условиях агрессивной окружающей среды и больших нагрузок. Для их производства необходимо высокоточное технологическое оборудование с большим уровнем автоматизации для повторяемости экземпляров и обеспечения качества [1].

Помимо оборудования немаловажным аспектом является рациональный выбор технологии производства. Он позволяет обеспечить экономичность и высокие темпы производства, что влияет на конкурентоспособность производителя.

Целью настоящей работы являлась оценка эффективности применения композиционных материалов в баллонах высокого давления, теоретическое исследование способов и возможностей изготовления баллонов высокого давления различных геометрических форм и объёмов с применением полимерных композиционных материалов нового поколения.

В процессе работы был проведён анализ существующих методов производства изделий из полимерного композиционного материала и даны рекомендации по использованию наиболее эффективной технологии.

В результате исследований были выбраны: в качестве компонентов композиционного материала – арамидное волокно и эпоксидная смола, а в качестве технологии изготовления – высокоэффективный метод намотки армирующего волокна на металлическую оправку – лейнер [2,3].

Толщина композитной оболочки рассчитывалась с использованием программного комплекса NASTRAN/PATRAN. В качестве исходных данных для расчёта принимались: давление рабочего тела – от 21 до 22 МПа (от 210 до 220 кгс/см²) при эксплуатации и 31,5⁺¹ МПа (315⁺¹⁰ кгс/см²) при испытаниях на прочность. Температура рабочего тела – от 223 до 333 К (от минус 50 до плюс 60°С). Окружающая среда: воздух с температурой от 223 до 333 К (от минус 50 до плюс 60°С).

В САD-системе КОМПАС была построена геометрическая модель композитного баллона (рис. 1), представляющая собой внутреннюю поверхность лейнера.

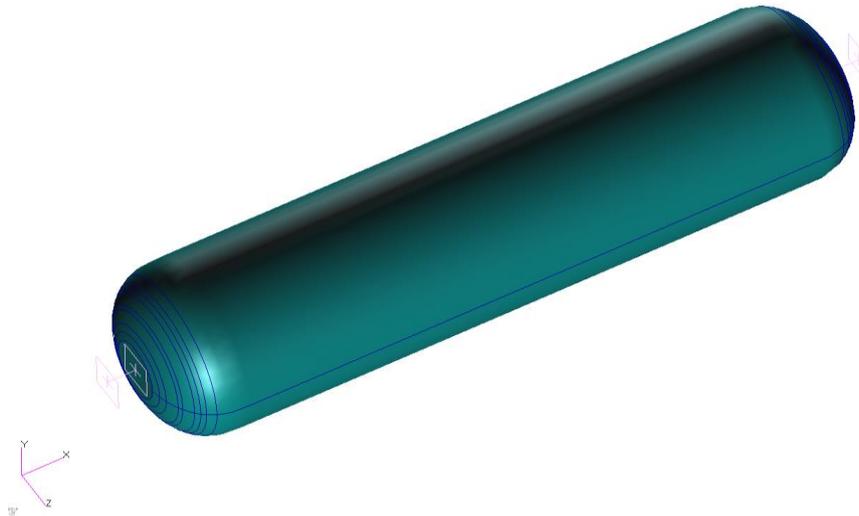


Рис. 1. Геометрическая модель баллона

По данным точкам в программе MSC.Patran, выполняющей для систем анализа функцию пре- и постпроцессора, строится образующая при помощи так называемых сплайн-функций (сочетание *Create/Curve/Spline* в диалоговой панели приложения «Geometry»). Затем вращением этой образующей вокруг оси x создаётся поверхность вращения (точнее набор поверхностей), которая и будет описывать геометрию баллона. В дальнейшем именно на эту поверхность и будет производиться выкладка (намотка) слоёв.

Следует отметить, что зоны левого и правого днища, на которых углы намотки были меньше $12,8^\circ$ (данный минимальный угол намотки и соответствующий ему радиус оправки были получены исходя из условия «несоскальзывания» ленты с поверхности оправки) исключались из рассмотрения.

В процессе изготовления баллона применялась так называемая «зональная намотка», заключающаяся в нанесении композиционного материала не одновременно на всю свободную поверхность оправки, а лишь на определённые зоны. Размеры и расположение последних продиктовано в первую очередь всё тем же условием «несоскальзывания» ленты с поверхности оправки.

На основе геометрической модели была разработана конечно-элементная модель композитного баллона (рис.2), проведён расчёт на прочность, определено количество слоёв наматываемого арамидного волокна.

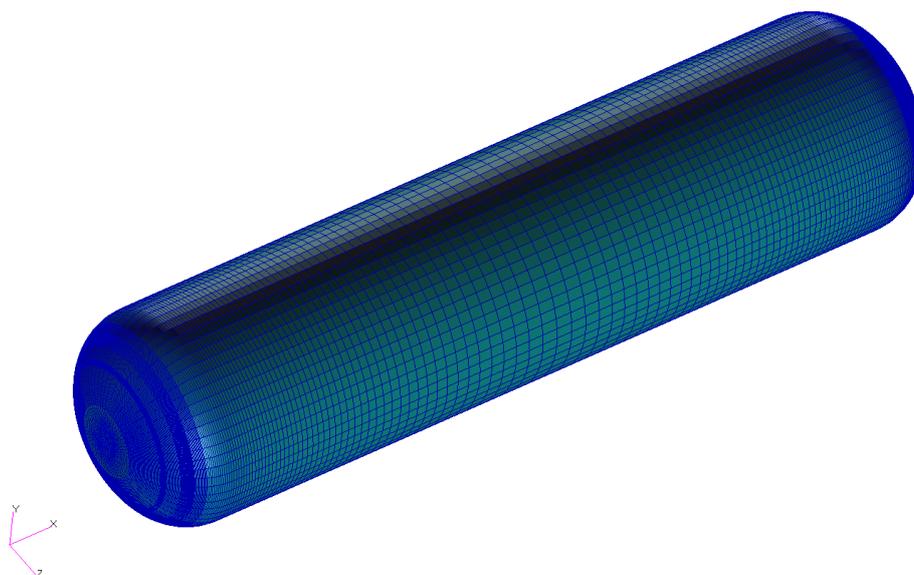


Рис. 2. Конечно-элементная модель баллона

Изготовленный в межкафедральном конструкторском бюро летательных аппаратов (МКБ ЛА) баллон успешно прошёл испытания, в результате которых была подтверждена правильность проведённых прочностных расчётов.

Оценку эффективности применения композиционных материалов при изготовлении баллонов проводят с помощью коэффициентов эффективности.

Одним из таких коэффициентов, используемым предприятием ЗАКБ «Сафит» [2], является показатель весовой эффективности. Этот коэффициент эффективности представляет собой показатель весовой эффективности, определяемый формулой:

$$K_M = \frac{PV}{G}. \quad (1)$$

Этот показатель является величиной, учитывающей основные характеристики: давление разрушения P , внутренний объём баллона V и его вес G . Универсальность показателя заключается в том, что не имея стоимостных характеристик баллонов можно сравнивать их конструкции при условии однотипности геометрических форм (цилиндрические, сферические, тороидальные).

Используя данные, приведённые в [2], сравнивали показатели эффективности металлокомпозитного баллона, изготовленного в Самарском университете, стального баллона, устанавливаемого на ракете-носителе «Союз», и сферических баллонов (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристики баллонов высокого давления

Баллон	Материал основы	Показатель эффективности, Км
Металлокомпозитный	Арамидное волокно	16,33
Стальной	Сталь	5,22
Титановый	Титан	15,06
Композитный, сферический	Арамидное волокно	14,88

Из таблицы следует, что металлокомпозитный баллон Самарского университета превосходит баллоны высокого давления, устанавливаемые на ракете-носителе «Союз».

Библиографический список

1. Батаев, А.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение [Текст]: учеб. / А.А. Батаев, В.А. Батаев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.
2. Эффективность использования металлокомпозитных баллонов высокого давления в аэрокосмической технике [Электронный ресурс] – <http://safit.info/cylinder.pdf?iframe=true&width=100%&height=100%>, (дата обращения: 06.04.2019).