А. А. Склезнев, А. А. Бабичев, В. Н. Борисов

**ПОЛИКОНИЧЕСКИЙ КОМПОЗИТНЫЙ СЕТЧАТЫЙ АДАПТЕР
ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ И ТЕХНОЛОГИЯ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

**АО «ЦНИИСМ» – Центральный научно-исследовательский
институт специального машиностроения**

e-mail: andrey@skleznev.ru

В работе предлагается вариант конструкции адаптера для нескольких полезных нагрузок, изготовленного из композиционных материалов. Проведен вычислительный эксперимент при помощи МКЭ, выполнено сравнение с существующими конструкциями и описана технология изготовления такого рода конструкций. Показана значительная экономия массы конструкции адаптера по сравнению с существующими аналогами при сохранении тех же запасов прочности и жесткости.

Ключевые слова: КМ, композитный адаптер, коническая оболочка, конструкция из КМ.

A. A. Skleznev, A. A. Babichev, V. N. Borisov

**POLYCONIC COMPOSITE LATTICE PAYLOAD ADAPTER
AND THE TECHNOLOGY OF ITS MANUFACTURE**

**The Central Research Institute for Special Machinery,
Joint Stock Company (CRISM JSC)**

The paper proposes a variant of the design of an adapter for several payloads made of composite materials. A computational experiment was carried out using the FEM, a comparison with existing structures is made, and the technology for manufacturing of such structures is described. Significant weight saving of the adapter design is shown in comparison with existing analogs while maintaining the same strength and stiffness margins.

Keywords: CM, composite adapter, conical shell, composite structure.

Адаптеры полезной нагрузки, используемые в настоящий момент в конструкциях ракет-носителей, представляют собой устройства для закрепления полезной нагрузки на разгонных блоках или ступенях ракет и представляют собой осесимметричные тонкостенные оболочки вращения преимущественно конической формы, образованные из металлических элементов или множества пересекающихся спиральных и кольцевых ребер из слоев однонаправленного полимерного композиционного материала [Разин А.Ф. и др. «Адаптер в виде сетчатой оболочки вращения конической формы из полимерных композиционных материалов». Патент на изобретение № RU 2350818, М.: ФИПС, приоритет

от 04.04.2007.]. Такие адаптеры, представляющие собой моноконическую конструкцию, предназначены для размещения либо только одной крупногабаритной полезной нагрузки (ПН), либо массивной опорной платформы для размещения на ней вспомогательных устройств отделения для нескольких полезных нагрузок.

Задача выведения нескольких полезных нагрузок становится актуальной в связи с возрастающей стоимостью выведения грузов на орбиту Земли и сокращающимся количеством запусков ракет-носителей (РН) в последние годы. Решение этой задачи осложняется тем, что полезные нагрузки, одновременно выводимые ракетой-носителем, должны быть выведены

с одинаковой надежностью запуска. При их отделении между ними не должно возникать соударений, должны быть решены задачи компоновки космической головной части (КГЧ) РН, прочности и жесткости конструкций, используемых в КГЧ, ее массовой эффективности.

Вместе с этим, использование вспомогательных устройств вида опорной плиты, наклонных или механически наклоняющихся вспомогательных адаптеров выведения, добавляющихся к адаптеру ПН при выводе нескольких ПН на расчетные орбиты, значительно увеличивает массу конструкции КГЧ в ущерб мас-

се ПН, снижает жесткость и собственные частоты колебаний конструкции, а также несомненно снижает надежность работы всей конструкции в целом. Кроме этого, снижается технологичность производства КГЧ РН, увеличивается сложность сборочных работ при подготовке к старту и возрастает время подготовки к полету или перевода из одного режима готовности космической ракеты в другой режим готовности. Пример реализации конструкции опорной плиты при помощи различных видов адаптеров полезной нагрузки и их комбинаций проиллюстрирован на рис. 1.

Рис. 1. Вариант реализации (конечно-элементная модель) опорной плиты с:
а – цилиндрическим адаптером ПН; б – комбинацией адаптеров ПН

Рис. 2. Поликонический адаптер ПН, варианты исполнения для трех (а), четырех (б) и двух (в) ПН

С целью повышения интегральности и технологичности изготовления конструкции адаптера ПН предлагается использовать поликони-

ческий адаптер полезной нагрузки. Поликонический адаптер полезной нагрузки (рис. 2) представляет собой сетчатую анизотридную

тонкостенную оболочечную конструкцию, выполненную из полимерного композиционного материала, и имеющую шпангоуты для крепления к РН и ПН. Сетчатая структура состоит из множества взаимопересекающихся спиральных, кольцевых и, при необходимости, продольных ребер, изготовленных из однонаправленного композиционного материала методом непрерывной автоматизированной «мокрой» намотки.

Для оценки принципиальной работоспособности предлагаемой конструкции поликонического адаптера был произведен конечно-элементный расчет адаптера для двух ПН (рис. 2, в) на прочность и жесткость под действием нагрузок, типичных для вывода РН на орбиту. Расчетная конечно-элементная модель (КЭМ) представлена на рис. 3.

Рис. 3. КЭМ поликонического адаптера для 2 ПН

Рассматриваемый поликонический адаптер ПН имеет круговое нижнее сечение диаметром 2 м и два верхних кольцевых шпангоута для крепления ПН диаметром 0,9 м каждый. Дан-

ные сечения для ПН отклонены в противоположные друг от друга стороны на величину 5° по отношению к оси направления движения РН. Масса каждой из ПН, в целях моделирования принята в размере 950 кг. Геометрические параметры ребер, составляющих тонкостенную оболочечную сетчатую структуру могут быть, вообще говоря, определены путем решения задачи оптимального проектирования под конкретные параметры нагружения адаптера. Толщина оболочечной конструкции в рассматриваемой задаче равна 20 мм, ширина спиральных ребер – 6 мм, а кольцевых – 4 мм. Шпангоуты имеют прямоугольное сечение с размерами 20×20 мм. Для моделирования использовался однонаправленный композитный материал на основе углеродного волокна Umatex UMT-430 и эпоксидного связующего со следующими характеристиками: $E_1 = 170$ ГПа, $E_2 = 6.7$ ГПа, $\mu_{12} = 0.19$, предел прочности на растяжение вдоль волокна – 1,1 ГПа, на сжатие – 550 ГПа. Плотность углепластика – 1550 кг/м³. В рассматриваемой модели 34000 элементов и около 300000 узлов, использованы балочные КЭ типа «beam». Вес поликонического адаптера согласно КЭМ составляет 89.8 кг.

Граничные условия для модели – крепление нижнего кольцевого шпангоута по 8 точкам, симметрично расположенным по длине окружности, ПН крепится при помощи 6 точек крепления. Расчетные нагрузки – перегрузки в направлении полета РН величиной 10g и поперек направления полета 5g, действующие одновременно.

Результаты расчета поликонического адаптера полезной нагрузки в сравнении с цилиндрическим адаптером с опорной плитой, показанном на рис. 1, а, рассчитанным на аналогичные нагрузки, представлены в таблице.

Результаты сравнительных расчетов

Вариант конструкции	Первая продольная собств. частота, Гц	Первая поперечная собств. частота, Гц	Запас прочности	Запас устойчивости	Макс. перемещение, мм	Масса, кг
Поликонус	75,5	18,1	1,2	3,37	9,15	103
Адаптер с опорной плитой	13,9	13,8	1,2	2,43	26,4	554*

Примечание. Масса опорной плиты из общей массы составляет 450 кг.

Как следует из анализа полученных результатов, жесткость поликонического адаптера полезных нагрузок при одинаковом запасе прочности значительно превышает варианты использования адаптера с опорной плитой. При

этом масса поликонического адаптера значительно ниже. Можно отметить, что жесткость опорной плиты может быть повышена, а масса снижена в случае использования не анизотропной плиты, а трехслойной панели с сотовым за-

полнителем, однако ее масса при данных габаритах и нагрузках не снизится ниже 300 кг.

Кроме расчетных и проектировочных вопросов, создание поликонического адаптера поднимает такую важную задачу, как технологичность своего изготовления. Вместе с тем, при кажущейся сложности, решение такой задачи может быть получено достаточно простым путем. При использовании технологической оснастки (рис. 4) с конической поверхностью, незначительно наклоненной по своей оси по сравнению с осью симметрии правильного усеченного конуса для изготовления поликонического адаптера для любого количества ПН (два, три, четыре и более) будет достаточно одного комплекта оправки.

Рис. 4. Вариант оправки для автоматизированной намотки поликонических адаптеров ПН

Необходимое количество сегментов будущего поликонического адаптера будет изготовлено методом послойной «мокрой» автоматизированной намотки, после чего при помощи механической обработки можно будет удалить пересекающиеся части заготовок и собрать из нескольких заготовок (рис. 5) итоговый поликонический адаптер при помощи клее-механического соединения. В местах соединения заготовок может быть спроектирован и изготовлен вспомогательный шпангоут (не показан на рис. 5), который, кроме обеспечения целей

сборки изделия будет являться трафаретом для промежуточных слесарно-механических работ.

Рис. 5. Заготовка для поликонического адаптера двух ПН

В случае необходимости придания дополнительной жесткости нижнему стыковочному шпангоуту готового изделия (собирающегося из нескольких заготовок), к нему может быть присоединена неразрезная круговая деталь или выполнен автоматизированный подмот материала по круговой траектории на готовом изделии.

В качестве заключения можно сделать вывод о принципиальной возможности проектирования и изготовления поликонического адаптера для нескольких полезных нагрузок, применение которого сможет привести к существенной экономии массы изделий подобного рода. При этом в связи с исключением большого количества механических узлов и соединений повысится интегральность и надежность эксплуатации конструкции, увеличится ее жесткость.

Продолжение исследований в данном направлении способно привести к увеличению массы выводимой на расчетные орбиты ПН, а также расширить диапазоны применения существующих и перспективных РН.