

УДК 629.7.002:621.762

А.М. ЗИНОВЬЕВ¹, А.П. КУШНАРЕВ², А.В. КОНДРАТЬЕВ³,
А.М. ПОТАПОВ², А.П. КУЗНЕЦОВ¹, В.А. КОВАЛЕНКО²¹ ООО НПФ «Днепротехсервис», г. Днепропетровск, Украина² Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля»,
г. Днепропетровск, Украина³ Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина**КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ И НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ МЕЖСТУПЕННОГО ОТСЕКА РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ «ЦИКЛОН-4» ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Дано описание конструктивно-технологических решений опытного межступенного отсека ракеты-носителя «Циклон-4» с несущими обшивками из углепластика и сотами из полимерной бумаги «Нотех». Для нормированных случаев нагружения приведены результаты исследований напряженно-деформированного состояния отсека в регулярной зоне, а также фрагмента его стыка, состоящего из шпангоута и впервые разработанного соединительного композитного фитинга. Полученные результаты свидетельствуют о достаточной несущей способности и жесткости изделия при нормальной температуре и нагреве наружной обшивки до 100°C.

Ключевые слова: межступенной отсек, ракета-носитель, трехслойная конструкция, углепластик, несущие обшивки, сотовый наполнитель, фитинг, несущая способность, конечно-элементные модели.

Введение

Опытный межступенной отсек (МСО) ракеты-носителя (РН) «Циклон-4» является первым крупногабаритным изделием из полимерных композиционных материалов (ПКМ), изготовленным при непосредственном участии авторов и прошедшим первый этап натурных испытаний в ГП «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля» в 2012 году [1 – 4]. Ниже дано краткое описание примененных конструктивно-технологических решений (КТР) МСО РН «Циклон-4» и приведены результаты исследования его несущей способности при нормированных эксплуатационных воздействиях.

Изложение основного материала

МСО РН «Циклон-4» выполнен в виде усеченного конуса высотой 4014 мм с диаметром нижнего основания 3000 мм, а верхнего – 3980 мм (рис. 1).

Корпус МСО из ПКМ состоит из оболочки, верхнего и нижнего стыковочных шпангоутов. В местах размещения разрывных болтов в верхний стыковочный шпангоут клеены углепластиковые фитинги со стальными опорными пластинами и втулками. Расположение отверстий на стыковочных шпангоутах соответствует металлическому прототипу МСО. Углепластиковый фитинг имеет карман для размещения разрывного болта, внутри – ребра, в полостях между которыми заформованы вкладыши из пенопласта и стеклотекстолита. Оболочка трехслойной конструкции состоит из наружной, внут-

ренней обшивок и сотового наполнителя (СЗ) из полимерной бумаги «Нотех». В местах расположения люков на боковой поверхности корпуса в оболочку заформованы окантовки. Обшивки, верхний и нижний стыковочные шпангоуты, окантовки люков, накладки усиления изготовлены из углепластика на основе углеродного жгута ТС 36S-12K и связующего ЭДТ-69У.

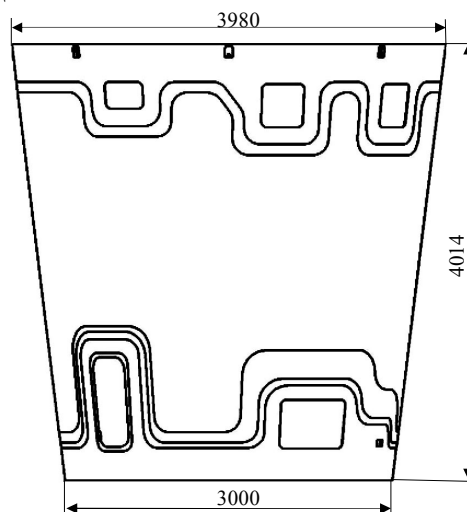


Рис. 1. Общий вид межступенного отсека из ПКМ

Несущие обшивки имеют переменную по высоте корпуса толщину: 0,99 мм на расстоянии 1950 мм от торца верхнего шпангоута и далее 1,1 мм. Толщина наружной и внутренней обшивок составляет 1,65 мм на высоте 350 мм от торца верхнего шпангоута с последующим плавным переходом

к толщине 0,99 мм (с высоты 350 до 450 мм), а на высоте 300 мм от торца нижнего шпангоута – 2,2 мм с последующим плавным переходом к толщине 1,65 мм (с высоты от 300 до 350 мм) и далее с плавным переходом к толщине 1,1 мм.

В верхней части корпуса МСО толщина наружной и внутренней обшивок на расстоянии 160 мм от выреза люков по их периметру составляет 1,65 мм с плавным переходом к толщине 0,99 мм до расстояния 260 мм.

В нижней части корпуса толщина наружной и внутренней обшивок на расстоянии 140 мм от выреза люка по его периметру равна 2,2 мм с плавным переходом к толщине 1,65 мм до расстояния 200 мм, далее с плавным переходом к толщине 1,1 мм до расстояния 360 мм по боковым сторонам люков и до 460 мм по верхней стороне люков.

В районе платы электроразъемов толщина наружной и внутренней обшивок равна 2,2 мм на расстоянии 100 мм по периметру от места перехода к трехслойному пакету, далее с плавным переходом к толщине 1,65 мм до расстояния 170 мм и затем с плавным переходом к толщине 1,1 мм по периметру до расстояния 220 мм. Утолщения наружной обшивки в районе окантовок выполнены со смещением относительно номинального положения на 25...100 мм.

Наружная и внутренняя обшивки имеют следующую схему армирования:

- для зоны с толщиной 0,99 мм: (0°, +45°, -45°, 90°, 0°, 90°, -45°, +45°, 0°);
- для зоны с толщиной 1,1 мм: (0°, +45°, -45°, 90°, 0°, 0°, 90°, -45°, +45°, 0°);
- для зоны с толщиной 1,65 мм: (0°, +45°, -45°, 90°, 0°, 0°, 90°, -45°, +45°, 0°, 0°, +45°, -45°, 90°, 0°);
- для зоны с толщиной 2,2 мм: (0°, +45°, -45°, 90°, 0°, 0°, 90°, -45°, +45°, 0°) x 2.

Шпангоуты верхний толщиной 6 мм, нижний толщиной 8 мм, окантовки люков и накладка толщиной 3 мм имеют схему армирования (0°, ±45°, 90°), периодически повторяющуюся до обеспечения конструктивной толщины.

В качестве нулевого направления принята образующая корпуса МСО.

Для обеспечения равномерной передачи усилий на внутреннюю несущую обшивку конической поверхности законцовки верхнего, нижнего шпангоутов и окантовок имеют плавный переход с основной толщины до нуля.

В конструкции оболочки между обшивками расположен СЗ высотой 34,9 мм. Для обеспечения необходимого давления формования и качественной приформовки в местах перехода СЗ к шпангоутам применены вкладыши из пенопласта Divinycell HP80. В местах расположения люков в наружной обшивке и окантовках выполнены вырезы.

Исходными данными для проектирования конструкции МСО из ПКМ являлись:

- физико-механические характеристики обшивок и предельные значения напряжений;
- нагрузки для расчетных случаев: «Транспортировка РН к месту старта», «Полет РН на активном участке траектории (АУТ)» (табл. 1).

Таблица 1
Расчетные и испытательные нагрузки

Нагрузки		Сечение	Верх МСО	Низ МСО
Случай нагружения – «Транспортировка»				
Расчетные нагрузки	Изгибающий момент M^P , кН·м		415,3	1037,5
	Перерезывающая сила Q^P , кН		149,0	160,4
	Осевая сила T^P , кН		±23,7	±25,2
	Эквивалентная осевая сжимающая сила $T_{\text{экв.сж.}}^P$, кН		441,1	1408,6
	Эквивалентная осевая растягивающая сила $T_{\text{экв.раст.}}^P$, кН		445,8	1428,2
Испытательные реализованные нагрузки	Изгибающий момент $M^{\text{исп}}$, кН·м		424,5	1070,5
	Перерезывающая сила $Q^{\text{исп}}$, кН		161,1	161,1
	Осевая сила $T^{\text{исп}}$, кН		-26,2	-26,1
	Эквивалентная осевая сжимающая сила $T_{\text{экв.сж.}}^{\text{исп}}$, кН		400,5	1401,4
	Эквивалентная осевая растягивающая сила $T_{\text{экв.раст.}}^{\text{исп}}$, кН		457,6	1453,3
Случай нагружения – «Полет РН на АУТ»				
Расчетные нагрузки	Изгибающий момент M^P , кН·м		925,6	1327,5
	Перерезывающая сила Q^P , кН		116,5	105,4
	Осевая сила T^P , кН		771,3	798,5
	Эквивалентная осевая сжимающая сила $T_{\text{экв.сж.}}^P$, кН		1678,7	2511,2
	Эквивалентная осевая растягивающая сила $T_{\text{экв.раст.}}^P$, кН		378,0	1170,6
Испытательные реализованные нагрузки	Изгибающий момент $M^{\text{исп}}$, кН·м		926,6	1396,3
	Перерезывающая сила $Q^{\text{исп}}$, кН		117	117
	Осевая сила $T^{\text{исп}}$, кН		800,0	800,0
	Эквивалентная осевая сжимающая сила $T_{\text{экв.сж.}}^{\text{исп}}$, кН		1731,4	2661,7
	Эквивалентная осевая растягивающая сила $T_{\text{экв.раст.}}^{\text{исп}}$, кН		141,7	1061,7

Проектирование МСО из ПКМ сопровождалось исследованием напряженно-деформированного состояния (НДС) его конструктивных элементов с помощью программного комплекса конечно-элементного анализа MSC NASTRAN. В настоящее время в области создания агрегатов ракетно-космической техники из ПКМ разработаны основные принципы их оптимального проектирования, например в работах [5 – 7]. Предложенные инженерные методы расчета позволяют проводить расчеты в целях подтверждения обеспечения несущей способности конструкций с одновременной ориентировкой на современные тенденции усиления в аэрокосмической отрасли информационных компьютерных технологий [8 – 13].

Для определения НДС были сгенерированы следующие конечно-элементные модели корпуса МСО из ПКМ:

- имитирующая нагрузку при испытаниях;
- имитирующая нагрузку при штатной эксплуатации РН;
- учитывающая технологические отклонения и имитирующая нагрузку при испытаниях.

В конечно-элементной модели корпуса МСО из ПКМ с учетом технологических отклонений были учтены: несимметричность трехслойного пакета корпуса МСО из ПКМ; смещение отверстий по нижнему торцу корпуса и усиления наружной обшивки корпуса от номинального положения.

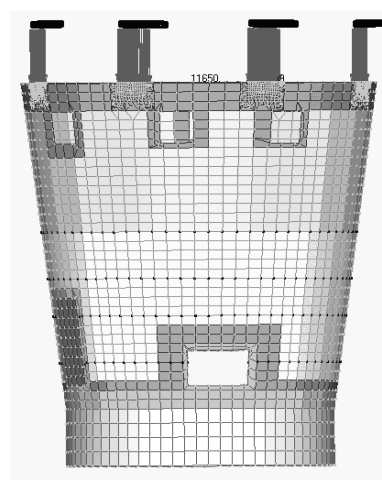
В качестве граничных условий принята система осевых и тангенциальных связей на нижнем шпангоуте МСО из ПКМ, соответствующая схеме расположения крепежа. Растягивающие усилия от момента затяжки в болтах стыков с технологической оснасткой не учитывались. Конечно-элементные модели МСО из ПКМ показаны на рис. 2, где разной плотностью цвета указаны зоны с различными схемами армирования обшивок.

Расчет МСО был проведен без учета и с учетом технологических отклонений. Характер распределения касательных напряжений в обшивках МСО из ПКМ показан на рис. 3 и 4.

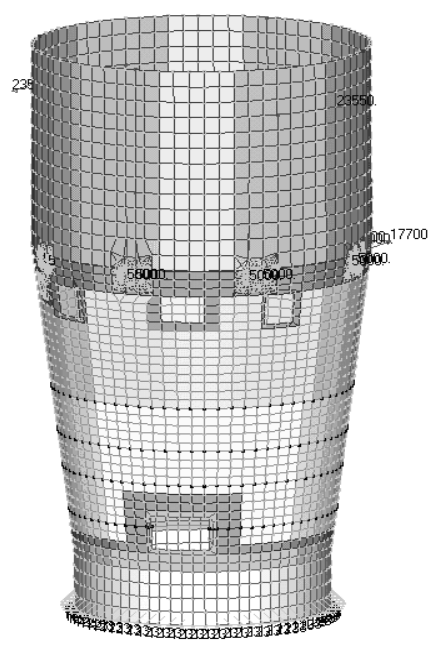
Величины нагрузок и сравнение максимальных сдвиговых напряжений в углепластиковых обшивках МСО из ПКМ представлены в табл. 3 и 4.

Для оценки влияния нагрева наружной обшивки МСО до 100°C при расчетном случае нагружения «Полет РН на АУТ» было исследовано соответствующее НДС. Исходными данными для расчета являлись:

- результаты расчета эксплуатационных и расчетных нагрузок, действующих на МСО;
- результаты расчета тепловых режимов конструкции;
- механические свойства применяемых конструкционных материалов с учетом нагрева до 100°C.



а



б

Рис. 2. Конечно-элементные модели МСО из ПКМ, имитирующие нагрузку: а – при эксплуатации РН; б – при испытаниях

Расчет НДС с учетом нагрева корпуса МСО из ПКМ был проведен также с помощью пакета программ конечно-элементного анализа NASTRAN.

Расчет для случая «Полет РН на АУТ» проводился для трех направлений действия перерезывающей силы и изгибающего момента:

- 1-й вариант – направление Q под углом $\alpha = 45^\circ$ между IV и III плоскостями стабилизации;
- 2-й вариант – направление Q под углом $\alpha = 15^\circ$ от IV плоскости стабилизации в сторону I;
- 3-й вариант – направление Q под углом $\alpha = 15^\circ$ от II плоскости стабилизации в сторону III.

Результаты расчета обшивок МСО из ПКМ с учетом нагрева до 100°C наружной обшивки приведены в табл. 5.

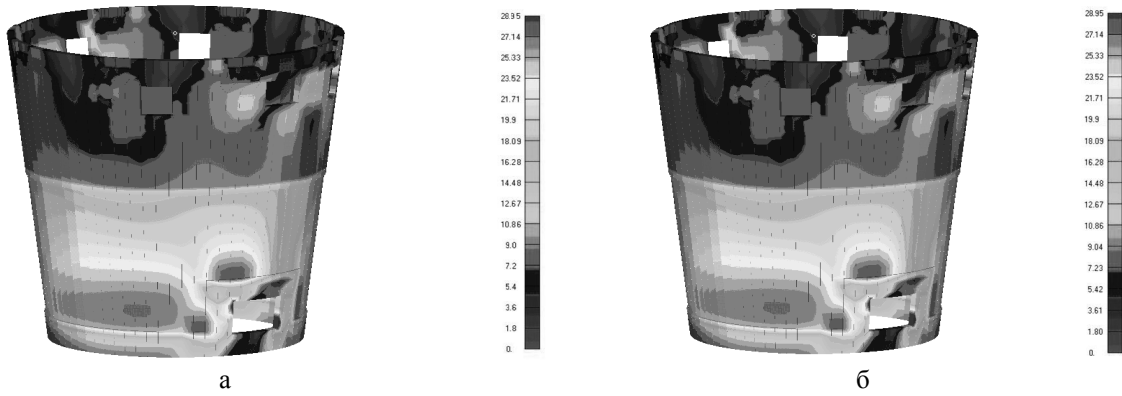


Рис. 3. Распределение максимальных расчетных сдвиговых напряжений в обшивках МСО из ПКМ для случая нагружения «Транспортировка» при нагружении испытательными нагрузками:

а – с учетом технологических отклонений, $\tau_{\max}^p = 37,6$ МПа;

б – без учета технологических отклонений, $\tau_{\max}^p = 31,9$ МПа



Рис. 4. Распределение максимальных расчетных сдвиговых напряжений в обшивках МСО из ПКМ для случая нагружения «Полет РН на АУТ» при нагружении испытательными нагрузками:

а – с учетом технологических отклонений, $\tau_{\max}^p = 83,7$ МПа;

б – без учета технологических отклонений, $\tau_{\max}^p = 70,0$ МПа

Таблица 3

Результаты расчетной оценки прочности обшивок МСО из ПКМ при действии максимальных расчетных и испытательных нагрузок для расчетного случая «Транспортировка»

Характер нагрузок	Изгибающий момент М, кН·м	Перерезывающая сила Q, кН	Осевая сила Т, кН	Максимальные расчетные сдвиговые напряжения в элементе τ_{\max}^p , МПа	Оценочные предельные значения напряжений при сдвиге $\tau_{\text{пред}}$, МПа	Коэффициент запаса прочности η
С учетом технологических отклонений						
Испытательные значения нагрузок	424,2	161	-26	37,6	70	1,86
Без учета технологических отклонений						
Испытательные значения нагрузок	424,2	161	-26	31,9	70	2,19
Расчетные значения нагрузок	415,3	149	$\pm 23,7$	26,7		2,62

Таблица 4

Результаты расчетной оценки прочности обшивок МСО из ПКМ при действии максимальных расчетных и испытательных нагрузок для расчетного случая «Полет РН на АУТ»

Характер нагрузок	Изгибающий момент M , кН·м	Перерезывающая сила Q , кН	Осевая сила T , кН	Максимальные расчетные сдвиговые напряжения в элементе τ_{\max}^p , МПа	Оценочные предельные значения напряжений при сдвиге $\tau_{\text{пред}}$, МПа	Коэффициент запаса прочности η
С учетом технологических отклонений						
Испытательные значения нагрузок	926,6	117	800	83,7	70	0,83
						1,07
Без учета технологических отклонений						
Испытательные значения нагрузок	926,6	117	800	70	70	1,00
Расчетные значения нагрузок	925,6	116,5	771,3	63,3		1,10

Таблица 5

Результаты расчета наружной обшивки МСО из ПКМ

Нагрузки	Расчетный случай	Транспортировка, $t=50^\circ\text{C}$	Полет РН на АУТ, $t=100^\circ\text{C}$							
			I	II	III					
Расчётное значение изгибающего момента M^p , кН·м		1037,5	1327,5							
Расчётное значение перерезывающей силы Q^p , кН		160,4	105,4							
Расчётное значение осевой силы T^p , кН		$\pm 25,2$	798,5							
Расчётная эквивалентная осевая сжимающая сила $T_{\text{экв.сж.}}^p$, кН		1408,6	2511,2							
Расчётная эквивалентная осевая растягивающая сила $T_{\text{экв.раст.}}^p$, кН		1428,2	1170,6							
Расчетные значения деформаций в наружной обшивке, %:										
						продольные	0,0015	0,0012	0,0011	0,0011
							-0,0014	-0,0033	-0,0033	-0,0034
						кольцевые	0,00131	0,0011	0,0012	0,0013
-0,00118	-0,0024	-0,0028	-0,0032							
Предельные значения деформаций, %		$\pm 0,0036^*$								
Коэффициенты запаса прочности по предельным деформациям в наружной обшивке МСО из ПКМ**:										
в продольном направлении $\eta_{\text{п}}$		2,55	1,1	1,07	1,04					
в кольцевом направлении $\eta_{\text{к}}$		2,74	1,51	1,27	1,13					

Примечания:

* Предельные деформации углепластиковых обшивок получены по предварительным данным.

** Для более точной оценки несущей способности конструкции МСО из ПКМ необходимо уточнение предельного деформативного критерия (в продольном и кольцевом направлениях) обшивок трехслойного пакета в диапазоне температур от 20 до 100°C .

Для МСО из ПКМ впервые разработаны композитные фитинги системы разделения отсеков РН «Циклон-4», предназначенные для передачи сосредоточенного усилия от разрывного болта на регулярную зону отсеков при их разделении или при транспортировке. Определение НДС исследуемой зоны объекта проведено также с помощью комплекса программ конечно-элементного анализа. Фрагмент стыка шпангоута и фитинга был представлен в виде набора многослойных пластин. При генерации конечно-элементной сетки был использован многослойный пластинчатый конечный элемент с изгибными и мембранными свойствами. При этом для каждой зоны фрагмента стыка шпангоута и фитинга были заданы соответствующие ей схема и порядок укладки монослоев. Сгенерированная конечно-элементная модель фрагмента отсека представлена 25000 элементов [14].

На рис. 5 разной плотностью цвета указаны зоны с различными схемами и порядком укладки слоев фрагмента стыка шпангоута и фитинга (наружная обшивка фрагмента стыка фитинга и шпангоута условно не показана).

Для оценки напряженного состояния слоев, образующих фитинг и фрагмент шпангоута, при помощи пакета программ конечно-элементного анализа использован энергетический критерий разрушения слоистых ПКМ Цзя – Ву. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что потеря несущей способности фитинга теоретически не реализуется, что подтверждает рациональность выбора его КТР

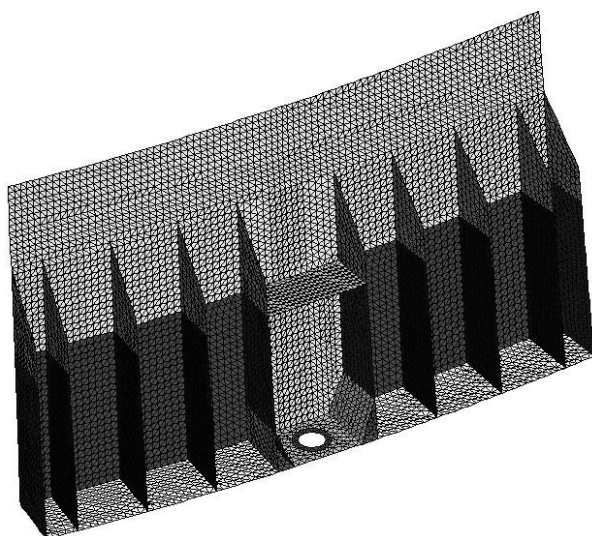


Рис. 5. Зоны с различными схемами и порядком укладки слоев на сгенерированной конечно-элементной модели

На рис. 6 показаны картины распределения максимальной величины принятого индекса разрушения фрагмента стыка фитинга и шпангоута.

Для проведения натурных испытаний была изготовлена серия фитингов [15]. Конструкция фитинга и способ его изготовления защищены патентом Украины [16].

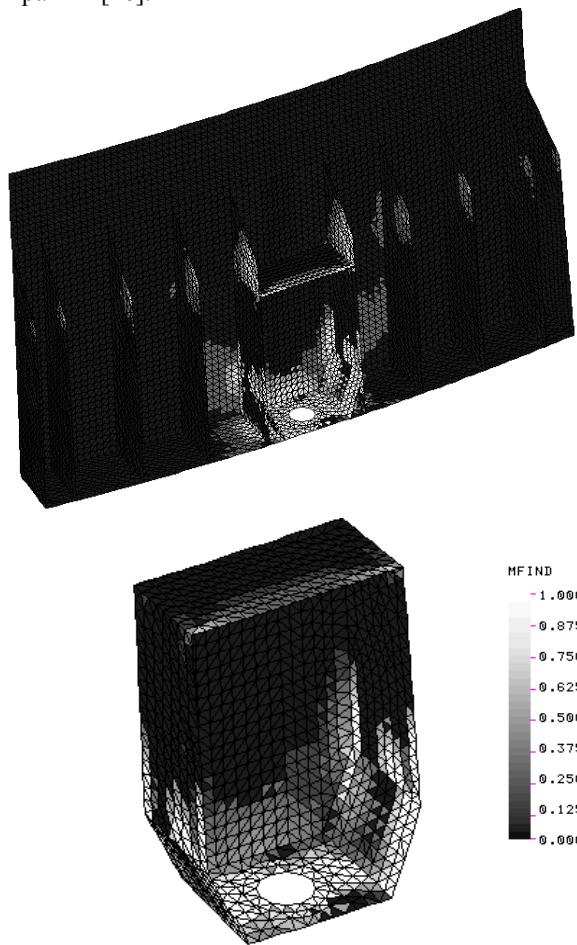


Рис. 6. Распределение индекса разрушения Цзя – Ву во фрагменте стыка фитинга и шпангоута

Выводы

1. Спроектирован опытный крупногабаритный МСО РН «Циклон-4» из ПКМ трехслойной конструкции с обшивками из углепластика переменной толщины и сотовым наполнителем из полимерной бумаги и соединительными фитингами из углепластика. Отсек имеет меньшую массу по сравнению с металлическим прототипом.

2. Проведенные исследования НДС при нормированных случаях нагружения «Транспортировка РН» и «Полет РН на АУТ» методом конечных элементов выявили достаточную несущую способность изделия и жесткость при нагреве наружной обшивки до 100°C.

3. Проведенные исследования НДС фрагмента стыка МСО РН, состоящего из фрагмента шпангоута и композитного фитинга, подтвердили правильность принятых для фитинга конструктивно-технологических решений.

Литература

1. Дегтярев, А.В. Применение композиционных материалов при создании перспективных образцов ракетной техники [Текст] / А.В. Дегтярев, В.А. Коваленко, А.В. Потапов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2012. – № 2(89). – С. 34 – 38.
2. Коваленко, В.А. Применение полимерных композиционных материалов в изделиях ракетно-космической техники как резерв повышения ее массовой и функциональной эффективности [Текст] / В.А. Коваленко, А.В. Кондратьев // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – № 5(82). – С. 14 – 20.
3. Технология изготовления корпуса опытного крупногабаритного межступенного отсека ракеты-носителя «Циклон-4» из углепластиков [Текст] / А.М. Зиновьев, А.П. Кушнарв, А.В. Кондратьев, А.М. Потапов, А.П. Кузнецов, В.А. Коваленко // *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*. – Вып. 2 (74). – Х., 2013. – С. 7 – 17.
4. Технологические особенности изготовления крупногабаритных трехслойных сотовых конструкций из полимерных композиционных материалов [Текст] / А.М. Потапов, Ю.Г. Артеменко, В.К. Москалец и др. // *Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники: сб. материалов V междунар. науч.-практ. конф., Днепрпетровск 5-7 июня 2013 г.* – Днепрпетровск, 2013. – С. 155 – 159.
5. Оптимальное проектирование композитных сотовых конструкций авиакосмической техники [Текст]: моногр. / В.Е. Гайдачук, А.В. Кондратьев, В.В. Кириченко и др. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2011. – 172 с.
6. Оптимизация проектных параметров головного обтекателя ракеты-носителя «Циклон-4» [Текст] / В.Е. Гайдачук, В.И. Сливинский, А.В. Кондратьев, А.П. Кушнарв // *Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники*: сб. материалов III междунар. науч.-практ. конф., Днепрпетровск 27-29 мая 2009 г. – Днепрпетровск, 2009. – С. 88 – 95.
7. Расчет головного блока ракеты-носителя «Циклон-4» при различных случаях нагружения [Текст] / А.П. Кушнарв, А.В. Кондратьев, В.А. Коваленко и др. // *Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники*: сб. материалов IV междунар. науч.-практ. конф., Днепрпетровск 01 – 03 июня 2011 г. – Днепрпетровск, 2011. – С. 91 – 97.
8. Basic parameters' optimization concept for composite nose fairings of launchers [Text] / V. Slyvyns'kyu, V. Gajdachuk, V. Kirichenko, A. Kon-dratiev // *62nd International Astronautical Congress, IAC 2011. Cape Town, 3 - 7 October 2011.* – Red Hook, NY: Curran, 2012. – Vol. 9. – P. 5701 – 5710.
9. Слезкин, Д.В. MSC.Software: Технологии виртуальной разработки конструкций из композиционных материалов [Электронный ресурс] / Д.В. Слезкин. – Режим доступа: http://www.bee-pitron.ru/Composites_DS_2009_Weepitron_SpB.pdf. – 17.06.2011.
10. Применение виртуального проектирования при поэтапном снижении массы крупногабаритного головного обтекателя РН из композиционных материалов [Электронный ресурс] / С.А. Петроковский, А.Г. Бахтин, В.П. Полиновский и др. // сб. материалов XIII Российской конф. поль-зоват. компьютер. систем инженер. анализа MSC. Software. Москва, 20 – 21 октября 2010 г. – Режим доступа: <http://www.mssoftware.ru> — 17.06.2011.
11. Matthew, E. Melis Finite element simulation of a space shuttle solid rocket booster aft skirt splash-down using an arbitrary lagrangian-eulerian approach [Text] / Melis, E. Matthew // *Technical Repor NASA*. – TM-2003-212093 NAS 1.15:212093 E-13745. – 35 p.
12. Sivakumar, V. Finite element analysis of segment joint sealing efficiency in solid rocket boosters / V.Sivakumar, R.Palaninathan [Electronic resource] // *Proceedings of the International Conference on Aerospace Science and Technology 26 - 28 June 2008, Bangalore, India.* – Mode of access: www.nal.res.in. – 16.10.2012.
13. Зиновьев, А.М. Перспектива машиностроения – наукоёмкие технологии [Текст] / А.М. Зиновьев, А.П. Кузнецов // *Проблемы общислювальной механіки і міцності конструкцій*. – 2011. – Вып. 15. – С. 3 – 8
14. Оценка несущей способности композитного фитинга системы разделения отсеков ракетно-носителей [Текст] / А.В. Дегтярев, А.П. Кушнарв, В.В. Гаврилко, В.А. Коваленко, А.В. Кондратьев, А.М. Потапов // *Космическая техника. Ракетное вооружение: науч.-техн. сб. ГП «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля»*. – Вып. 1. – Днепрпетровск: 2013. – С. 38 – 46.
15. Композитный фитинг системы разделения отсеков ракеты-носителя [Текст] / В.В. Гаврилко, А.В. Кондратьев, А.М. Потапов В.А. Коваленко // *Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники: сб. материалов V междунар. науч.-практ. конф., Днепрпетровск 5-7 июня 2013 г.* – Днепрпетровск, 2013. – С. 71 – 76.
16. Заявка № а 2012 11211. Украина. Фітинг та спосіб його виготовлення [Текст] / Зинов'єв О.М., Кузнецов О.П., Гаврилко В.В., Потапов О.М., Коваленко В.О., Ребров М.Ф., Клеменко Д.В. – 7 с.

Поступила в редакцию 10.04.2013, рассмотрена на редколлегии 15.05.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. проектирования ракетно-космических аппаратов В.Е. Гайдачук, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

**КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ТА НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ
МІЖСТУПЕНЕВОГО ВІДСІКУ РАКЕТИ-НОСІЯ «ЦИКЛОН-4»
З ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

О.М. Зінов'єв, О.П. Кушнарєв, А.В. Кондратьєв, О.М. Потапов, О.П. Кузнецов, В.О. Коваленко

Дано опис конструктивно-технологічних рішень дослідного міжступеневого відсіку ракети-носія «Циклон-4» з несучими обшивками з вуглепластика і сотами із полімерного паперу «Nomex». Для нормованих випадків навантаження наведено результати досліджень напружено-деформованого стану відсіку в регулярній зоні, а також фрагмента його стику, що складається зі шпангоута і вперше розробленого з'єднувального композитного фітинга. Отримані результати свідчать про достатню несучу здатність і жорсткість виробу при нормальній температурі та нагріві зовнішньої обшивки до 100°C.

Ключові слова: міжступеневий відсік, ракета-носій, тришарова конструкція, вуглепластик, несучі обшивки, стільниковий заповнювач, фітинг, несуча здатність, скінченно-елементні моделі.

**STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS AND BEARING
CAPACITY OF THE INTERSTAGE SECTION OF CARRIER ROCKET «TSYKLON-4»
MADE FROM POLYMER COMPOSITES**

A.M. Zinov'ev, A.P. Kushnarev, A.V. Kondratyev, A.M. Potapov, O.P. Kuznetsov, V.A. Kovalenko

Description of the structural and technological solutions for experimental interstage section of carrier rocket «Tsyklon-4» with CFRP load-bearing skins and honeycomb core from a polymeric paper «Nomex» was presented. Research results of the stress-strain state for the section in the regular zone as well as a fragment of its joints which consists of frame and composite connecting fitting were presented for the normalized load cases. The results obtained indicate a sufficient bearing capacity and rigidity of product at normal temperature and heating of outer skin to 100°C.

Keywords: interstage section, carrier rocket, three-layer construction, CFRP, load-bearing skins, honeycomb core, fitting, bearing capacity, finite-element models.

Зиновьев Алексей Михайлович – генеральный директор научно-производственной группы «Днепро-техсервис», Днепропетровск, Украина.

Кушнарєв Александр Павлович – Первый заместитель Генерального конструктора - Генерального директора по системному проектированию, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск, Украина.

Кондратьев Андрей Валерьевич – канд. техн. наук, доцент каф. проектирования ракетно-космических аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: kondratyev_a_v@mail.ru.

Потапов Александр Михайлович – канд. техн. наук, начальник комплекса новых материалов и перспективных технологий, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск, Украина.

Кузнецов Александр Петрович – канд. техн. наук, заместитель генерального директора научно-производственной группы «Днепро-техсервис», Днепропетровск, Украина.

Коваленко Виктор Александрович – канд. техн. наук, начальник лаборатории, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск, Украина.