

КАРКАС СКАНЕРА ВЫСОКОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И УЗЛОВ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Настоящая статья является продолжением серии публикаций авторов, освещающих основные исследования и опытные разработки, проводимые в последние годы на Государственном предприятии «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля» в содружестве с организациями и вузами ракетно-космической отрасли Украины [1 – 9].

Каркас, несущие стенки которого выполнены из углепластика для обеспечения термостабильности его конструкции, предназначен для крепления на стенках его корпуса оптических элементов (четырех зеркал) и узлов (призменного блока и клинового компенсатора) сканера высокой разрешающей способности (СВРС).

Короб корпуса СВРС состоит из четырех боковых и одной донной стенок. Шестая стенка корпуса изготавливается отдельно и затем неразъемно крепится к коробу.

К двум противоположно расположенным боковым стенкам короба и к донной стенке короба неразъемно крепятся три кронштейна, предназначенных для крепления СВРС к космическому аппарату (КА). При этом в кронштейнах для увеличения термического сопротивления в интерфейсе «КА – СВРС» клеены втулки из теплоизоляционного материала. Для крепления оптических элементов (зеркал), блендов и кожуха на донной стенке короба корпуса клеены титановые втулки. В этой же стенке выполнены три окна: входное круглое окно – для светового потока, круглое и прямоугольное окна – для прохода зеркал.

В каждой из четырех боковых стенок короба корпуса выполнено круглое технологическое окно и клеены титановые втулки для крепления заглушки.

На неразъемно крепящейся к корпусу стенке выполнен вырез для прохода зеркал 1 и 3, расположенных на плите, и клеены титановые втулки для крепления плиты и электронных блоков.

На верхней по отношению к посадочной плоскости, образованной тремя втулками в кронштейнах, боковой стенке короба корпуса клеены титановые втулки для крепления контрольного оптического элемента и титановые втулки для проведения такелажных работ с корпусом СВРС и СВРС в сборе.

Толщина углепластиковых стенок корпуса выбрана из условия получения необходимой жесткости для обеспечения заданной в техниче-

ском задании деформативности корпуса и возможности обеспечения требуемой прочности приклеивания втулок.

Общий вид корпуса показан на рис. 1.

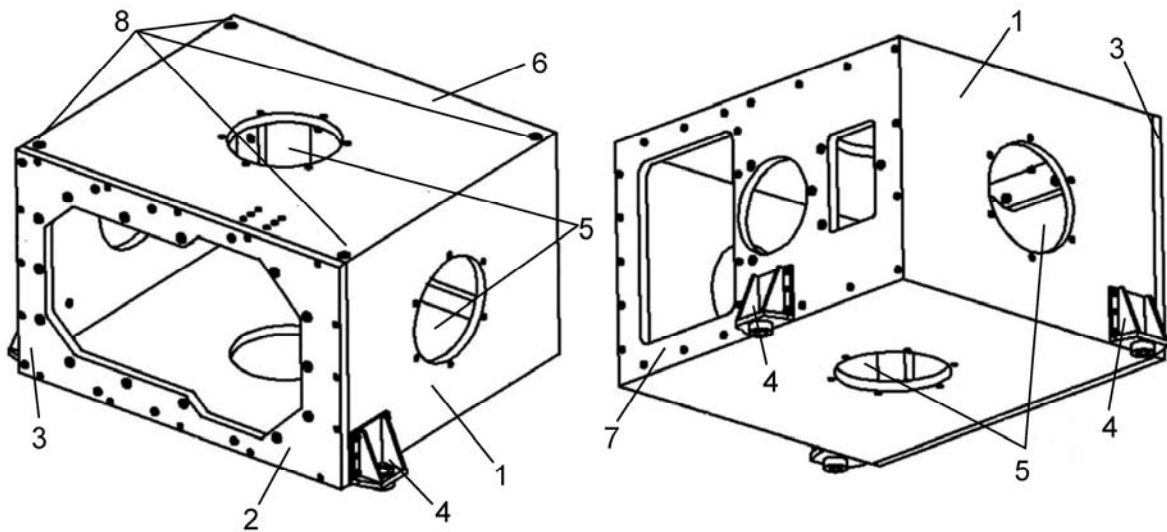


Рисунок 1 – Общий вид корпуса СВРС:

- 1 – короб; 2 – грань для крепления плиты и электронных блоков;
 3 – стенка; 4 – кронштейн; 5 – технологические отверстия; 6 – грань для крепления контрольного оптического элемента; 7 – грань для крепления зеркал, блендов и кожуха; 8 – отверстия для такелажных работ

Конструкция плиты – прямоугольной формы со срезанными под углом 45° фасками. По центру плиты выполнено прямоугольное окно для прохода светового потока. С двух противоположных сторон плиты вклеены титановые втулки. По периметру плиты вклеены проходные втулки для крепления плиты к корпусу, при этом две из этих втулок – классные под установку штифтов.

На одной из сторон плиты, обращенной к корпусу, приклеены две группы втулок и пятак для крепления и установки зеркал 1 и 3 СВРС. На другой стороне приклеены втулки для крепления призмного блока и клинового компенсатора СВРС.

Общий вид плиты показан на рис. 2.

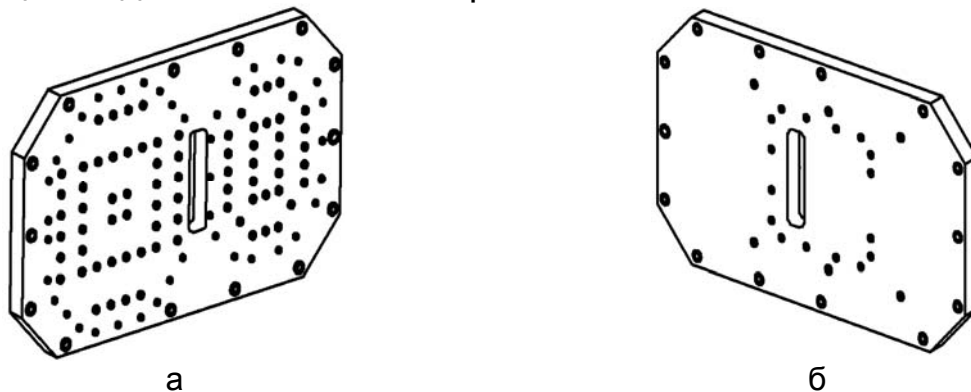


Рисунок 2 – Общий вид плиты корпуса СВРС:

- а – грань для соединения с корпусом и крепления зеркал;
 б – грань для крепления призмного блока и клинового компенсатора

В сборке корпуса СВРС плита закреплена к нему болтами и двумя базирующими штифтами.

На механически обработанные поверхности углепластика корпуса и плиты нанесено защитное покрытие в целях исключения осыпания частиц угольных волокон.

Изготовленные в ГП «КБ «Южное»» образцы на основе углеродной комплексной нити УКН-5000 и углеродного жгута ТС 36S-12К, пропитанные эпоксидным связующим ЭДТ-10, показали результаты, приведенные в табл. 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов микропластика

Наименование показателей	Марка наполнителя	
	УКН-5000	ТС 36S-12К
Плотность волокна, г/см ³	1,75	1,80
Линейная плотность жгута, текс	399	805
Средняя разрывная нагрузка жгута в микропластике при растяжении, Н	503	1527
Среднее разрушающее напряжение жгута в микропластике при растяжении, МПа	2206	3416
Коэффициент вариации, %	6,0	5,4

Таблица 2 – Результаты испытаний кольцевых образцов углепластика

Наименование показателей	Марка наполнителя	
	УКН-5000	ТС 36S-12К
Плотность волокна, г/см ³	1,75	1,80
Линейная плотность жгута, текс	399	805
Среднее разрушающее напряжение при растяжении, МПа	1007	1502
Модуль упругости при растяжении, ГПа	106,88	146,25

На основании данных, приведенных в табл. 1 и 2, для изготовления заготовок корпуса и плиты было рекомендовано использование высокопрочного угольного наполнителя фирмы TAIRYFIL (Англия) марки ТС 36S-12К, в качестве матрицы – отработанное для изделий космического назначения эпоксидное связующее ЭДТ-10.

Физико-механические, теплофизические характеристики и КЛТР углепластика определялись экспериментально на образцах материала.

Для вклейки закладных элементов в заготовки корпуса и плиты предлагается использование клея холодного отверждения марки ЭПО-ТЕРМ-03т. В качестве защитного покрытия для нанесения на механически обработанные поверхности корпуса и плиты использован компаунд холодного отверждения, состоящий из смолы КДА-2 и отвердителя ПЭ-ПА.

Материал основных составляющих корпуса СВРС (короб, стенка, плита) – углепластик, включающий в себя:

- наполнитель угольный фирмы TAIRYFIL марки TC 36S-12K;
- эпоксидное связующее марки ЭДТ-10.

Принятая толщина одного слоя углепластика – 0,2 мм.

Общее требование к схеме армирования:

- ортогональных слоев (0° , 90°) – примерно по 30% в двух взаимно перпендикулярных направлениях на всех поверхностях короба;
- диагональных слоев ($\pm 45^\circ$) – примерно по 20% на всех поверхностях.

Схема армирования и последовательность выкладки приведены в табл. 3. В схемах армирования в числителе указано количество слоев, в знаменателе – направление волокон. Наличие слоев на гранях короба показано на рис. 3 – 6.

Таблица 3 – Схема армирования короба

Тип пакета	Схема армирования пакета	Количество слоев в одном пакете	Толщина пакета, мм	Количество пакетов
I	$\frac{1}{X} + \frac{1}{Y} + \frac{1}{K} + \frac{1}{45^\circ} + \frac{1}{-45^\circ}$	4	0,8	10 – 11
II	$\frac{2}{X} + \frac{2}{Y} + \frac{2}{K} + \frac{1}{45^\circ} + \frac{1}{-45^\circ}$	6	1,2	10 – 11

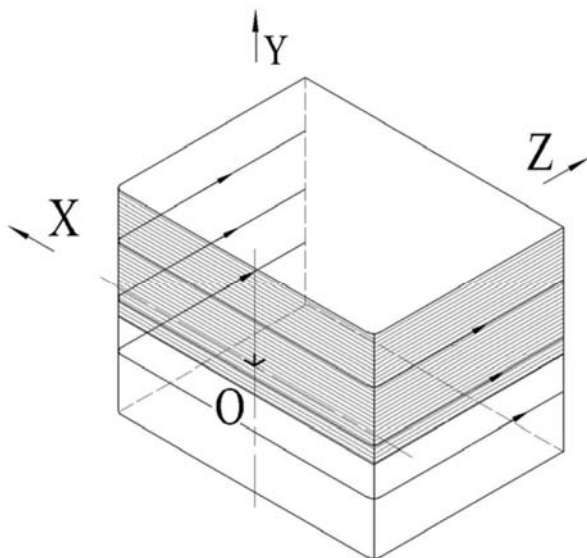


Рисунок 3 – Схема выкладки ленты

в слое $\frac{1}{X}$

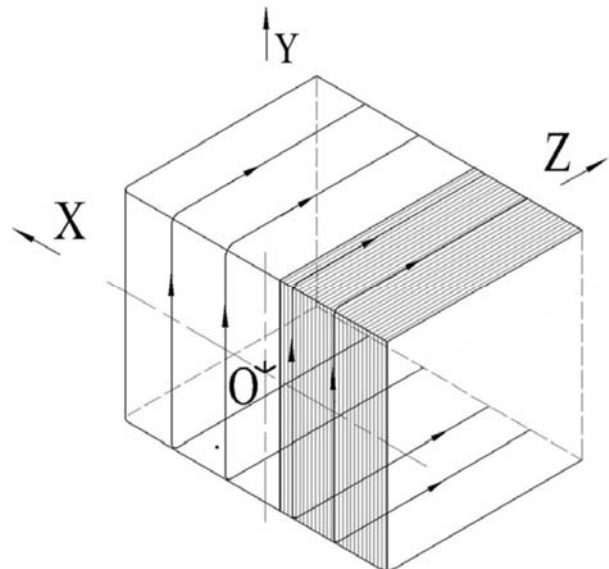


Рисунок 4 – Схема выкладки ленты

в слое $\frac{1}{Y}$

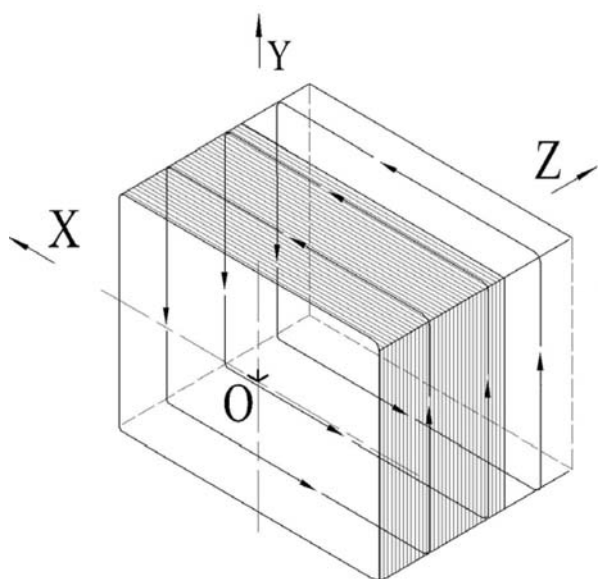


Рисунок 5 – Схема выкладки ленты
в слое $\frac{1}{K}$

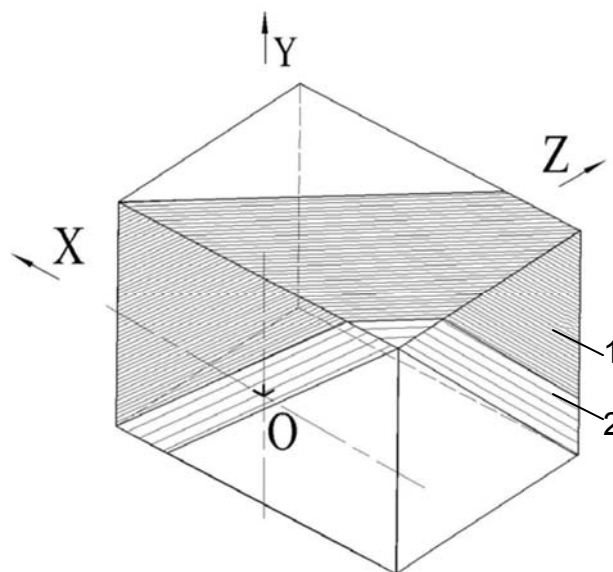


Рисунок 6 – Схема выкладки ленты
в слое $\frac{1}{+45^\circ}$:
1 – по типу I; 2 – по типу II

Пакеты типа I и II выкладываются из лент препрега поочередно до обеспечения необходимых размеров заготовки короба, учитывающих припуск на последующую механическую обработку. Необходимое количество пакетов и толщина стенок могут быть скорректированы после определения фактических размеров изготовленной оправки и проверки толщины стенок на образцах.

Направление выкладки:

- X, Y – соответствует этим осям на донной части короба, а далее перегибается на боковые грани и идет по оси Z в соответствии с рис. 3 - 4;
- K – кольцевое, т.е. отражает обмоточные слои вдоль осей X и Y на боковых гранях в соответствии с рис. 5;
- плюс 45° – соответствует обмотке боковых граней по правой спирали под углом 45° к осям с переходом через донную часть короба в соответствии с рис. 6;
- минус 45° – то же самое, но по левой спирали.
- ширину лент препрега удобно брать с учетом положения углов короба в соответствии с рис. 3 – 6. Причем она понемногу возрастает по мере наращивания толщины стенок.

Не допускается перерезание волокон. Места стыка кольцевых слоев должны рассредоточиваться по периметру равномерно.

Ленты пакета типа II на обоих концах идут одна по правой, а другая по левой спирали. Лента пакета типа I при переходе через донную часть короба меняет направление – на одном конце она идет по правой спирали, на другом – по левой. Для осуществления такого перехода допускается переплетение лент смежных косых слоев. Зазоры между всеми

смежными лентами допускаются от 1 до 2 мм, а в отдельных местах – до 3 мм. В местах переходов между поверхностями (по радиусу) ленты можно зауживать во избежание складок и образовавшиеся незначительные зазоры необходимо восполнять угольными жгутами.

Таким образом, заполнение одного слоя в направлении плюс 45° и одного слоя в направлении минус 45° при выкладке по всем поверхностям обеспечивается укладкой четырех лент пакета типа I и двух лент пакета типа II, обвивающих боковые грани короба вокруг оси Z, с переходом на донную часть короба.

Схемы армирования стенки и плиты приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Схемы армирования стенки и плиты

Тип пакета	Схема армирования пакета	Количество слоев в одном пакете	Толщина пакета, мм	Количество пакетов
стенка				
I	$\frac{1}{X} + \frac{1}{Y} + \frac{1}{45^\circ} + \frac{1}{-45^\circ}$	4	0,8	11
II	$\frac{2}{X} + \frac{2}{Y} + \frac{1}{45^\circ} + \frac{1}{-45^\circ}$	6	1,2	11
плита				
I	$\frac{1}{X} + \frac{1}{Y} + \frac{1}{45^\circ} + \frac{1}{-45^\circ}$	4	0,8	16
II	$\frac{2}{X} + \frac{2}{Y} + \frac{1}{45^\circ} + \frac{1}{-45^\circ}$	6	1,2	16

Пакеты типа I и II выкладываются поочередно до набора требуемой толщины стенки с учетом припуска на механическую обработку. Количество пакетов может быть скорректировано после определения толщины слоя на образцах.

Исходя из конструкции корпуса и плиты для их изготовления рассматривалось два метода формования: вакуумное формование и вакуумно-пресс-камерное формование.

Для повышения качества изделий используют способ вакуумно-пресс-камерного формования. Этот способ основан на передаче давления прессования воздуха через диафрагму к заготовке, уложенную на жесткую матрицу-форму (оправку). Внутренняя поверхность изделия оформляется матрицей, а внешняя – резиновым мешком и цулагой.

Учитывая повышенные требования к материалу заготовок корпуса и плиты (минимальная пористость, высокие физико-механические характеристики, низкий КЛТР и др.) было предложено использовать метод вакуумно-пресс-камерного формования.

Перед изготовлением технологического образца корпуса СВРС проводился входной контроль материалов (угольного наполнителя марки ТС 36S-12K, эпоксидного связующего марки ЭДТ-10, клея ЭПОТЕРМ-03т) на изготавливаемых из них образцах углепластика по определению физико-механических, теплофизических характеристик углепластика и механической прочности клея.

Изготовление корпуса и плиты из выбранных материалов включает в себя следующие основные операции:

- приготовление эпоксидного связующего;
- изготовление однонаправленного препрега (пропитка углеродного наполнителя эпоксидным связующим);
- послойная выкладка заготовки короба из препрега согласно схеме армирования с предварительной опрессовкой каждого пакета;
- режим полимеризации заготовки короба методом вакуумно-пресс-камерного формования;
- выкладка заготовок плиты и стенки корпуса согласно схеме армирования;
- режим полимеризации заготовок плиты и стенки корпуса методом вакуумно-пресс-камерного формования;
- механическая обработка заготовок короба и стенки корпуса под склейку;
- приклеивание стенки корпуса к коробу;
- механическая обработка заготовок корпуса и плиты (обеспечение неплоскостности, непараллельности и перпендикулярности углепластиковых поверхностей);
- сверление отверстий в заготовках корпуса и плиты под клейку кронштейнов и закладных элементов;
- клейка кронштейнов и закладных элементов в заготовки корпуса и плиты;
- нанесение защитного покрытия на механически обработанные поверхности корпуса и плиты;
- контроль размеров и геометрических параметров корпуса и плиты;
- контроль качества изготовления конструкции корпуса и плиты.

Для изготовления корпуса и плиты использована следующая технологическая оснастка:

- оправка для изготовления заготовки короба;
- пресс-камера для полимеризации заготовки короба (имеется в наличии);
- пресс-камера для изготовления и полимеризации заготовок плиты и стенки корпуса;
- кондукторы для сверления отверстий и клейки закладных элементов в заготовки корпуса и плиты.

Перечисленные средства технологического оснащения должны быть металлическими, многократного использования и обеспечивать требуемые технологические параметры, точность заданных размеров, форм и расположения поверхностей детали.

Оправка для изготовления заготовки короба представляет собой металлическую форму, на которой осуществляются выкладка и формообразование заготовки. Внутренняя поверхность заготовки короба повторяет наружную поверхность оправки в заданных допусках, с учетом температурной деформации оснастки в процессе полимеризации заготовки в дальнейшем не подвергается механической обработке.

В пресс-камере для полимеризации заготовки короба проводятся пакетная подпрессовка заготовки при выкладке и ее окончательная полимеризация.

В пресс-камере для изготовления и полимеризации заготовок плиты и стенки корпуса осуществляются выкладка заготовок и их последующая полимеризация.

Кондукторы для сверления отверстий и вклейки закладных элементов в заготовке корпуса и плиты, изготовленные на высокоточном оборудовании, устанавливаются и фиксируются на механически обработанных поверхностях заготовок, при этом обеспечиваются сверление отверстий и вклейку закладных элементов в заданных допусках.

Полимеризацию заготовок корпуса и несущей плиты предполагается осуществлять в печи типа ПАП по выбранным технологическим режимам, механическую обработку заготовок – на координатно-расточном станке типа 2E450A, сверление отверстий по кондукторам под вклейку закладных элементов – на радиально-сверлильном станке типа 2M55.

Заданная неплоскостность, непараллельность и перпендикулярность рабочих поверхностей корпуса и плиты обеспечиваются точностью механической обработки углепластиковых поверхностей заготовок на аттестованном оборудовании (координатно-расточной станок) с последующим базированием кондукторов по этим поверхностям, сверлением отверстий и вклейкой закладных элементов по кондукторам.

Контроль запыленности воздуха проводится фотометрическим методом, в основу которого положено свойство рассеивания света отдельными частицами. Подсчет частиц осуществляется в 1 дм^3 воздуха для следующих размерных диапазонов: 0,5 мкм и более, от 1 мкм и более и от 5 мкм и более.

Предварительный контроль механических загрязнений корпуса СВРС проводится путем протирки контролируемой поверхности салфеткой из фторлоновой ткани, смоченной в этиловом спирте. Видимые следы загрязнений на салфетке после протирания ею контролируемой поверхности не допускаются. Исключение составляют серые следы алюминиевой поверхности, наличие которых на салфетке не является браковочным признаком.

Перед сборкой конструктивных элементов проводится контроль чистоты поверхности корпуса СВРС на соответствие уровню «визуально чистый (VC) + ультрафиолет». Такой контроль осуществляется с применением ультрафиолетового осветителя с длиной волны излучателя в диапазоне от 320 до 380 нм и мощностью излучателя не менее 100 Вт и основывается на способности загрязнений флуоресцировать под воздействием ультрафиолетового излучения. При контроле проводится осмотр всей контролируемой поверхности на расстоянии от 30 до 45 см с направлением излучения под наклоном к поверхности. Контроль выполняется в темноте или при максимально возможном устранении других (кроме УФ) источников освещения. При отсутствии на контролируемой поверхности видимых следов каких-либо загрязнений поверхность считается чистой и соответствующей уровню «визуально чистый (VC) + ультрафиолет». При обнаружении любого признака флуоресценции необходимо выполнить повторную очистку контролируемой поверхности. Если после этого флуоресценция не уменьшилась и источником флуоресценции является сам материал контролируемой поверхности (равномерное свечение всей поверхности), контролируемая поверхность считается чистой и соответствующей уровню «визуально чистый (VC) + ультрафиолет».

Для подтверждения количественных требований по чистоте поверхности корпуса СВРС проводится отбор проб механических и молекулярных загрязнений.

Контроль количества механических загрязнений поверхности корпуса СВРС выполняется по соответствующей инструкции методом снятия отпечатков скотчем, не оставляющего следов на контролируемой поверхности. В дальнейшем подсчитывают количество частиц на образце с определением их размеров под микроскопом типа МБС-10.

Контроль количества молекулярных загрязнений поверхности корпуса СВРС выполнялся по инструкции методом смыва определенной площади контролируемой поверхности с помощью салфетки, смоченной в растворителе. Затем проводится экстрагирование салфетки в том же растворителе, и полученный раствор собранных молекулярных загрязнений выпаривается, а полученный невыпаренный остаток взвешивается.

Уровень газовыделений неметаллических материалов, применяемых в конструкции узлов корпуса СВРС определяется на образцах материалов, для этого образцы выдерживаются при температуре плюс 125°C и давлении $1,333 \cdot 10^{-2}$ Па в течение 24 часов, после чего определяют общую потерю массы образца и количество веществ, конденсирующихся на специальных конденсаторах, температура которых поддерживается на уровне плюс 25°C.

Обеспечение надежности конструкции корпуса СВРС проводится путем планирования и осуществления организационно-технических и

научно-методических мероприятий, направленных на выполнение требований по надежности, контроль надежности – совокупностью операций, включающих в себя количественную оценку показателей надежности конструкции корпуса СВРС, оценку полноты выполнения организационных и технических требований по обеспечению надежности, сравнения достигнутых и требуемых значений заданных показателей надежности конструкции корпуса СВРС и принятия решений о выполнении требований по надежности.

Рассматривая надежность конструкции корпуса СВРС как свойство конструкции сохранять во времени (в течение срока службы) в установленных пределах значения параметров, характеризующих способность конструкции выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях эксплуатации, хранения и транспортирования, а также то, что надежность является комплексным свойством корпуса СВРС, в техническом задании на него определен показатель долговечности конструкции корпуса – срок службы конструкции корпуса СВРС не менее 7 лет при сроке активного существования 5 лет.

С учетом особенностей функционирования конструкции корпуса СВРС – эксплуатация в наземных условиях и натуральных условиях в составе сканера высокого разрешения КА, выделен основной показатель долговечности – срок службы корпуса СВРС в натуральных условиях полета сканера высокого разрешения космического аппарата 5 лет.

Современный уровень требований по размерной точности и стабильности крупногабаритных космических оптических систем менее 0,1 мм/м в условиях циклического изменения температуры от минус 150 до плюс 150°C может быть достигнут только с использованием конструктивных мер по обеспечению температуры, а также анализа и синтеза свойств полимерных композиционных материалов, позволяющих за счет заданного КЛТР обеспечить размерную стабильность оптической структуры.

По результатам работ, проведенных на этапе эскизного проекта и представленных выше, сформирован перечень мероприятий на различных этапах жизненного цикла конструкции корпуса СВРС, начиная от выпуска проектной и конструкторской документации, изготовления опытных образцов и заканчивая автономной наземной обработкой.

Выводы

1. В изложенных выше материалах по созданию корпуса СВРС разработана принципиально новая, ранее не использовавшаяся в отечественной практике конструкция корпуса из углепластика для сканеров высокой разрешающей способности.

2. В конструкции корпуса применен углепластик на основе высокопрочного угольного наполнителя фирмы TAIRYEL (Англия) марки ТС 36S-12К и эпоксидного связующего марки ЭД-10 отечественного про-

изводства, который при выбранной схеме армирования волокон угольного наполнителя обеспечит прочностные и жесткостные характеристики конструкции, позволяющие выполнить заданные по техническому заданию требования деформативности посадочных мест оптических элементов и узлов СВРС.

3. Для наземной отработки предусмотрен технологический образец корпуса СВРС, на котором:

- обрабатывается технологический процесс изготовления корпуса включая оснастку;

- экспериментально определяется деформативность конструкции корпуса СВРС (линейные и угловые перемещения поверхностей посадочных мест оптических элементов и узлов);

- проводятся исследования напряжений в углепластике, возникающие при значительном изменении температуры во время изготовления заготовок корпуса и плиты и во время транспортирования корпуса СВРС (отдельно и в составе СВРС) вследствие различия значений коэффициента линейного температурного расширения угольного наполнителя и эпоксидного связующего.

4. Для изготовления корпуса СВРС применена передовая технология с использованием метода вакуумно-пресс-камерного формования заготовок корпуса и плиты, механической обработки их наружных поверхностей, сверления отверстий и вклеивания закладных элементов по кондукторам со сменными втулками.

5. Материалы эскизной проработки требований технического задания на опытно-конструкторскую работу по созданию корпуса сканера высокой разрешающей способности подтверждают возможность создания терморазмеростабильной конструкции корпуса СВРС на основе углепластика и могут быть использованы для проведения работ на последующих этапах его создания.

Список использованных источников

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. Композиционные материалы в разработках ГП «КБ Южное» / А.М. Потапов, В.А. Коваленко, Ю.Г. Артеменко и др. [Текст] // *Композиционные материалы в промышленности: сб. материалов 30 междунар. науч.-практ. конф., Ялта 7–11 июня 2010 г.* / Украинский информационный Центр «Наука. Техника. Технология». – К., 2010. – С. 111 – 119.

3. Полимерные композитные конструкции / В.И. Демичев, В.А. Коваленко, И.В. Малков и др. // *Материалы и покрытия в экстремальных условиях. Взгляд в будущее: в 3 т.* – Т.2. Передовые технологии произ-

водства / В.В. Скороход, Н.А Никифоров, С.В. Резник и др.; под ред. С.В. Резника. М.: Изд-во ИГТУ им. Н.Э Баумана, 2002. – С. 86 – 160.

4. 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.

5. Кондратьев, А.В. Состояние проблемы научного обеспечения эффективной технологии производства агрегатов ракетно-космической техники из полимерных композиционных материалов [Текст] / А.В. Кондратьев, В.А. Коваленко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – № 6(83). – С. 17 – 25.

6. Кондратьев, А.В. Обзор и анализ мировых тенденций и проблем расширения применения в агрегатах ракетно-космической техники полимерных композиционных материалов [Текст] // А.В. Кондратьев, В.А. Коваленко // *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*. – Вып. 3 (67).– Х., 2011. – С. – 7 – 18.

7. Разработка макетного образца и технологии изготовления тестовой панели солнечной батареи космического аппарата / В.В. Гаврилко, В.А. Коваленко, А.В. Кондратьев, А.М. Потапов // *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*. – Вып. 3(71).– Х., 2012. – С. 110 – 117.

8. Расчет головного блока ракеты-носителя «Циклон-4» при различных случаях нагружения [Текст] / В.Е. Гайдачук, В.В. Кириченко, А.В. Кондратьев, Е.В. Танчик, В.И. Сливинский, А.П. Кушнарев, В.А. Коваленко // *Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники : сб. материалов IV междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск 01 – 03 июня 2011 г. / Укр. НИИ технологий машиностроения*. – Днепропетровск, 2011. – С. 91 – 97.

9. Квалиметрические показатели основных этапов жизненного цикла конструкций ракетно-космической техники из полимерных композиционных материалов / В.Е. Гайдачук, В.А. Коваленко, А.В. Кондратьев и др. // *Композиционные материалы в промышленности: сб. материалов 32 междунар. науч.-практ. конф., Ялта 4–8 июня 2012 г. / Украинский информационный Центр «Наука. Техника. Технология»*. – К., 2012. – С. 302 – 303.

Поступила в редакцию 13.03.2013.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Е. Гайдачук,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*