

УДК 629.78

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ЗАДАННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БАТАРЕИ СОЛНЕЧНОЙ НА ЭТАПАХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И НАЗЕМНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

© 2012 Ю. П. Шупляк, В. И. Сороколетов

ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс», г. Самара

Рассматривается одно из направлений повышения качества батареи солнечной для космического аппарата типа «Бион-М», связанное с экспериментальным подтверждением заданных характеристик на этапах её изготовления и наземной эксплуатации. Приводится состав панели батареи солнечной и стенда раскрытия и описывается их совместное функционирование при раскрытии панелей. Перечисляются направления оптимизации наземной экспериментальной отработки системы «Батарея солнечная + Стенд раскрытия».

Батарея солнечная, жизненный цикл существования, критичный элемент, качество, контроль качества, панель батареи солнечной, стенд раскрытия, наземная экспериментальная отработка, система инженерного анализа конструкции.

Введение

Настоящая работа относится к проблематике наземной эксплуатации батареи солнечной (БС) и посвящена повышению качества БС для космического аппарата (КА) типа «Бион-М» на этапе наземной эксплуатации. БС разрабатывается в соответствии с техническим заданием (ТЗ) и представляет собой составную часть КА, которая на различных этапах своего жизненного цикла существования (ЖЦС) предназначена для реализации множества целей и задач в составе КА.

Вместе с тем основной задачей БС в составе КА является её способность функционировать в космическом пространстве с целью обеспечения электроэнергией бортовой аппаратуры КА во время его штатного функционирования на орбите. Именно в способности являться бесперебойным источником электроэнергии, удовлетворяющим многочисленным запросам потребителей этой электроэнергии в составе КА, и заключается главное качество БС.

Как основной источник электропитания в составе КА, БС является критичным элементом, что влечёт за собой организацию контроля её качества на всех этапах ЖЦС. Любая задача, связанная с

повышением качества БС, становится актуальной.

Не вызывает сомнений тот факт, что изготовление опытных образцов и наземная экспериментальная отработка (НЭО) узлов, агрегатов КА и его составных частей (в том числе – БС) является одним из важнейших этапов ЖЦС КА, а также основным элементом системы разработки и гарантирования качества КА.

НЭО и проверки бортовых систем КА и входящего в его состав наземного оборудования должны обеспечивать их максимальный объём с целью подтверждения заданных характеристик в условиях, приближённых к штатным условиям эксплуатации с необходимыми запасами. В этом случае испытания и проверки, проводимые при НЭО, будут давать уверенность в том, что при штатной эксплуатации заданное качество будет обеспечено.

Характеристика БС

Рассматривается задача повышения качества БС за счёт экспериментального подтверждения заданных технических характеристик БС при помощи специально-го стенда раскрытия панелей БС (стенда раскрытия).

БС состоит из двух панелей БС1 и БС2, устанавливаемых на КА по двум противоположным плоскостям стабилизации. Конструктивно панели БС1 и БС2 представляют зеркальное отражение друг друга. Далее по тексту там, где это не вносит разночтения, будет использоваться выражение «панель БС». Там, где разговор ведётся о конструкции панели БС, будет рассматриваться конструкция панелей БС1.

Состав панели БС и ответных элементов крепления на корпусе КА показан на рис. 1 (панель БС условно показана в раскрытом виде и обведена рамкой «Панель БС»). Прочие составные части панели БС, в том числе: узлы фиксации к борту КА, пиножи, стяжки, стяжные ленты, защёлки, датчики контактные на рисунке условно не показаны ввиду малых размеров, но там, где это необходимо, упоминаются в тексте. Створки панели БС предназначены для закрепления на них токогенерирующей части БС – батареи фотоэлектрической. Узлы фиксации предназначены для крепления панели БС к опорам КА. Кронштейн установочный предназначен для крепления панели БС на кронштейне опорном. Шарниры, торсионы, пиножи, стяжки, стяжные ленты, защёлки предназначены для расфиксации, раскрытия и приведения створок панели БС в рабочее положение. Узел вращения панели предназначен для отвода панели от КА в раскрытое (рабочее) положение. Датчики контактные предназначены для телеметрического контроля раскрытия и отвода панели БС.

В исходном состоянии панели БС установлены на КА в сложенном положении (уложены в пакет). После срабатывания пиножей створки и рама раскрываются и фиксируются защёлками. Разворот

рамы относительно корпуса КА осуществляется двумя пружинами вращения, установленными в узле вращения панели. Разворот концевой створки относительно корневой и корневой створки относительно рамы осуществляется торсионами. Под действием торсионов створки БС поворачиваются и освобождаются от стяжек. Стяжки откидываются и фиксируются. Связь с корпусом КА разрывается и пружины узла вращения отводят панель БС в рабочее положение (происходит одновременное раскрытие рамы и створок).

К числу основных технических характеристик БС, экспериментально подтверждаемых на этапах изготовления и наземной эксплуатации в эксплуатирующей организации (ЭО), относятся:

- возможность раскрытия БС;
- время раскрытия панели БС;
- назначенный ресурс работы конструкции БС, подтверждаемый при конструкторско-доводочных испытаниях (КДИ) БС;
- вероятность безотказной работы конструкции БС (при КДИ);
- энергетические характеристики фотоэлектрических преобразователей (ФП) БС;
- другие характеристики.

Для экспериментального подтверждения данных характеристик на заводе-изготовителе (ЗИ) и при подготовке в эксплуатирующей организации (ЭО) к штатной эксплуатации БС должно быть предусмотрено проведение следующих видов испытаний:

- испытание БС на функционирование (раскрытие панелей БС);
- контроль целостности ФП с их заменой при необходимости;
- засветка ФП.

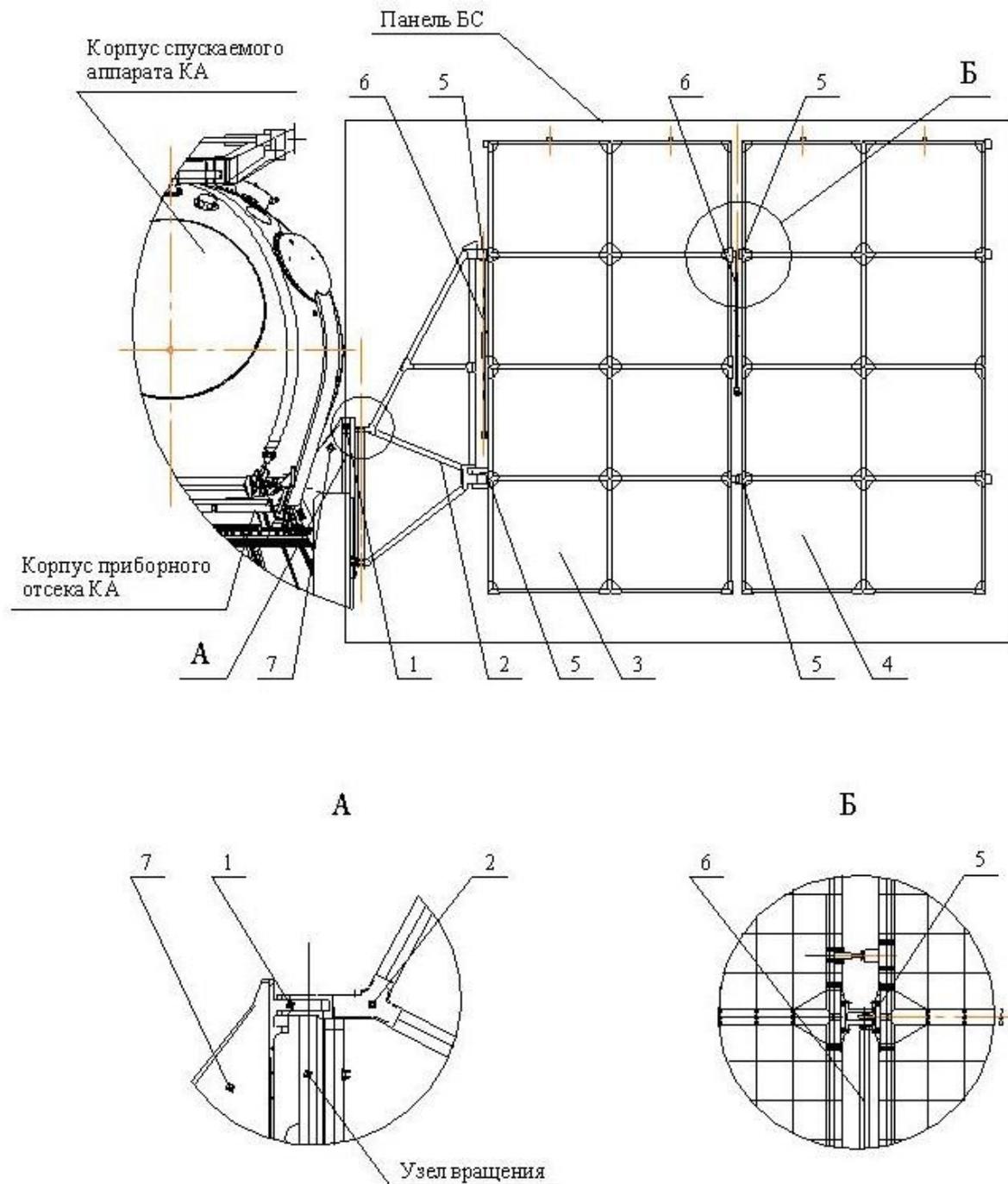


Рис. 1. Состав панели ВС и ответных элементов крепления ВС на корпусе КА:
 1 – кронштейн установочный с узлом вращения, 2 – рама, 3 – створка корневая, 4 – створка концевая,
 5 – шарниры (4 шт.), 6 – торсионы (2 шт.), 7 – кронштейн опорный

Характеристика стенда раскрытия

Экспериментальное подтверждение характеристик ВС сопряжено с разрешением следующего противоречия: с одной стороны, конструкция ВС разрабатывается

из условий её одноразового штатного использования по назначению в условиях невесомости; с другой стороны, при проведении НЭО конструкция ВС должна выдерживать многоразовые механические нагрузки, вызываемые воздействием силы

тяжести и преодолением воздействия силы тяжести.

Так, в процессе НЭО панели БС некоторые конструктивные элементы БС (например, пружины вращения, торсионы, обеспечивающие требуемые усилия для раскрытия, а также шарниры, защёлки и ФП) испытывают нагрузки, вызываемые дополнительным действием силы тяжести, которые превышают нагрузки при их штатной эксплуатации.

Фактор превышения нагрузок при проведении НЭО даёт право отнести эти элементы к числу критичных элементов в составе панели БС, что также влечёт за собой необходимость организации контроля их качества на всех этапах ЖЦС БС.

Одним из элементов контроля качества данных критичных элементов на этапе изготовления и наземной эксплуатации БС является введение в ТЗ требования о проведении испытаний БС на специальном стенде раскрытия, который должен обеспечивать условия, при которых становится возможным провести их раскрытие и экспериментально подтвердить заданные характеристики на ЗИ и в ЭО.

В общем случае с помощью стенда должны обеспечиваться условия, максимально приближенные к реальным условиям использования БС по назначению:

- условия искусственной невесомости для критичных узлов и систем БС при их автономной наземной проверке на функционирование;

- проведение динамических операций по раскрытию БС;

- механическая целостность БС при её совместном со стендом функционировании.

В процессе раскрытия панели БС на стенде раскрытия её критичные элементы (помимо влияния нагрузок, вызываемых действием силы тяжести) испытывают

дополнительное инерционное сопротивление массы присоединённой к панели БС системы обезвешивания стенда и дополнительных сил сопротивления, обусловленных невозможностью обеспечить полное совпадение степеней свободы панели БС и стенда раскрытия как механизмов, объединённых в единую систему.

Поэтому в ТЗ специально оговаривается перечень характеристик, которые должны обеспечиваться элементами стенда раскрытия с точки зрения внутренней структуры самого стенда.

Так, в соответствии с ТЗ на разработку БС, стенд раскрытия должен обеспечивать такие характеристики, как:

- момент сопротивления в шарнирах системы обезвешивания (должен быть не более ...);

- масса системы обезвешивания (должна быть не более ...);

- сила, обезвешивающая БС (должна быть не более ...);

- суммарная масса демпфирующих устройств (должна быть не более ...);

- несоосность осей вращения подвижных подкосов системы обезвешивания относительно осей вращения створок БС (должна быть не более ...);

- другие характеристики.

Будучи объединёнными между собой, панель БС и стенд раскрытия образуют единую систему более высокого уровня иерархии, которая приобретает новое качество – способность обеспечить раскрытие БС и экспериментально подтвердить заданные в проектной и конструкторской документации характеристики.

Стенд раскрытия как составная часть космического аппарата разрабатывается по отдельному частному ТЗ (ЧТЗ).

Общий вид и состав стенда показан на рис. 2.

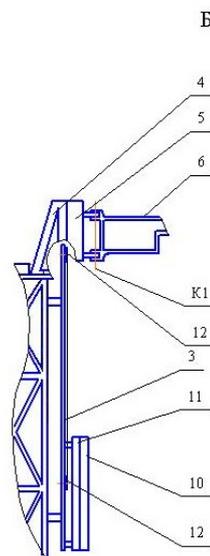
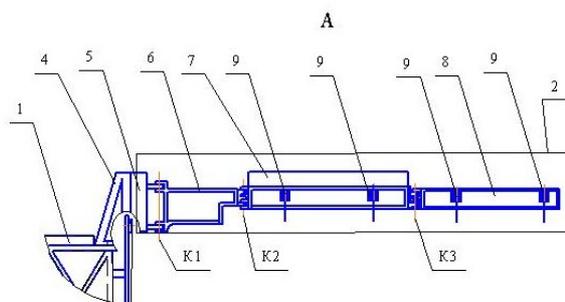
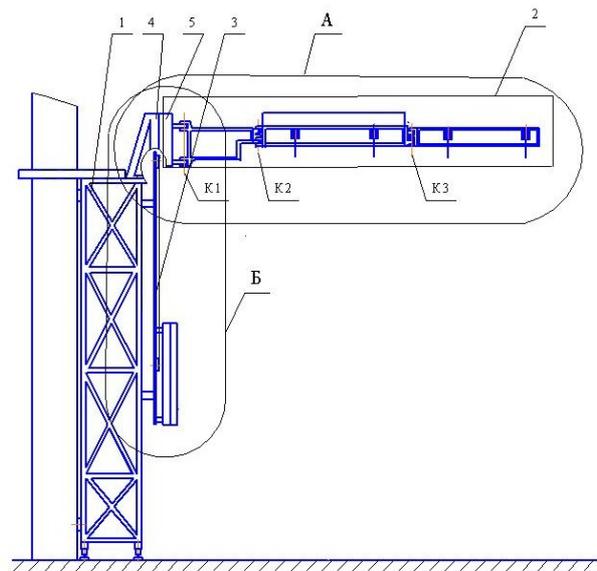


Рис. 2. Общий вид и состав стэнда раскрытия:

1 – ферма переходная, 2 – система обезвешивания, 3 – имитатор посадочных мест, 4 – кронштейн подвижной фермы перекидной, 5 – кронштейн системы обезвешивания, 6 – подвижный подкос I, 7 – подвижный подкос II, 8 – подвижный подкос III, 9 – демпфирующее устройство (4 шт.), 10 – кронштейн стыковочный, 11 – кронштейн поворотный, 12 – узлы фиксации стэнда (6 шт.)

Примечание. На рис. 2 не показано вспомогательное оборудование для обеспечения засветки ФП, которое также входит в состав стенда, но в настоящей работе не рассматривается. Кроме того, на рис. 2 условно не показаны: механический фиксатор, средства контроля соосности и другие элементы, но там, где это необходимо, они упоминаются в тексте.

Ферма переходная предназначена для выполнения следующих работ:

- крепления стенда к колонне сооружения;
- установки на ферму системы обезвешивания;
- установки на ферму имитатора посадочных мест панели БС.

Система обезвешивания предназначена для выполнения следующих работ:

- крепление к ней панели БС в сложенном положении;
- обезвешивание панели БС с заданной точностью в процессе её раскрытия.

Примечание. Здесь и далее по тексту под обезвешиванием понимается имитация условий невесомости для панелей БС, которая в условиях действия сил земного притяжения обеспечивается с помощью системы подвижных подкосов и пружинных механизмов демпфирующих устройств.

Имитатор посадочных мест предназначен для выполнения следующих работ:

- выставки стыковочной плоскости имитатора в вертикальное положение с заданной точностью;
- крепления к имитатору панели БС в сложенном положении по посадочным местам;
- удерживание панели БС в сложенном положении при помощи стопорных элементов после расфиксации штатных узлов фиксации БС.

Имитатор посадочных мест может поворачиваться в стыковочной плоскости имитатора относительно собственной вертикальной оси на 180° .

Кронштейн подвижный фермы переходной (кронштейн фермы) предназначен:

- для крепления к стенду системы обезвешивания;

- для обеспечения двух положений системы обезвешивания относительно имитатора посадочных мест: «положения при хранении» и «рабочего положения».

Кронштейн системы обезвешивания предназначен для крепления к кронштейну фермы, с одной стороны, и для крепления к нему подвижных подкосов, с другой стороны.

Подвижный подкос I предназначен для обеспечения кинематики рамы панели БС, а подвижные подкосы II и III предназначены для обеспечения кинематики корневой и концевой створок панели БС соответственно.

На подвижных подкосах II и III установлены по два демпфирующих устройства, которые должны обеспечивать заданные условия обезвешивания панели БС. В состав демпфирующих устройств входят стыковочные элементы для крепления к панели БС.

Подкосы имеют шарниры с осями вращения:

- K1 – ось вращения подвижного подкоса I относительно кронштейна фермы;
- K2 – ось вращения подвижного подкоса II относительно подвижного подкоса I;
- K3 – ось вращения подвижного подкоса III относительно подвижного подкоса II.

Шарниры подкосов имеют элементы регулирования осей вращения K1, K2 и K3, обеспечивающие возможность:

- выставки их в вертикальное положение;
- перемещения их в горизонтальной плоскости в заданном диапазоне размеров.

Кронштейн стыковочный имеет стыковочную поверхность, которая по своим характеристикам аналогична стыковочной поверхности кронштейна опорного КА, и предназначен для установки на него кронштейна установочного панели БС1.

Кронштейн поворотный предназначен для поворота кронштейна стыковочного на 180° при проведении работ с панелью БС2.

Узлы фиксации стенда предназначены для установки и крепления на них узлов фиксации панели БС. По своим характеристикам стыковочные поверхности узлов фиксации аналогичны стыковочным поверхностям ответных узлов фиксации панели, расположенных на КА.

Для работ с конкретной панелью БС используются четыре узла фиксации. Соответствующая комбинация узлов фиксации определяется соответствующей панелью (БС1 или БС2), с которой проводятся работы по раскрытию.

Совместное функционирование панели БС и стенда раскрытия

В исходном положении кронштейн фермы с установленной на нём системой обезвешивания находится в «положении при хранении». Имитатор посадочных мест выставлен в положении для работ с соответствующей панелью БС (прямое – для работ с панелью БС1 и развёрнутое на 180° – для работ с панелью БС2). Комплектация узлов фиксации стенда, а также положение кронштейна стыковочного соответствуют панели БС, с которой проводятся работы по раскрытию. Стыковочная плоскость имитатора выставлена в вертикальное положение.

При подготовке панели БС к раскрытию в стенде раскрытия работы выполняются в следующей последовательности.

Панель БС в сложенном положении подводится к имитатору посадочных мест (средства транспортирования панелей БС в настоящей работе не рассматриваются) и устанавливается на кронштейн поворотный.

Далее проводится контроль совмещения узлов фиксации панели с узлами фиксации стенда, их взаимная стыковка друг с другом и механическое поджатие панели к имитатору посадочных мест.

После этого кронштейн фермы с установленной на нём системой обезвешивания устанавливается над панелью БС в положении, при котором оси вращения К1, К2 и К3 находятся в вертикальном положении и соосны осям вращения узла вращения панели и обеих створок панели БС.

Далее проводится крепление демпфирующих элементов к створкам панели с соблюдением условий вертикальности тросиков, обеспечивающих связь пружинных механизмов демпфирующих устройств со створками БС. Затем при помощи пружинных механизмов демпфирующих устройств обеспечиваются заданные усилия обезвешивания панели БС.

При соблюдении перечисленных условий считается, что стенд обеспечивает заданные условия для защиты критичных элементов панели БС от действия нерасчётных нагрузок.

Панель БС готова к проведению работ по её раскрытию.

Перед раскрытием створок панели БС в стенде раскрытия проводится частичный демонтаж штатных узлов фиксации панели, после чего её удержание в сложенном положении обеспечивается только за счёт механического фиксатора стенда.

Для раскрытия панели БС достаточно снять стопор механического фиксатора, и под действием пружин кручения, установленных в узле вращения панели, рама начнёт разворачиваться относительно имитатора посадочных мест, а разворот створки концевой относительно корневой и корневой створки относительно рамы совместно с системой обезвешивания стенда обеспечивается под действием тросионов.

В раскрытом положении створки и рама фиксируются защёлками, а также фиксируются своими защёлками и подкосы.

Общий вид стенда раскрытия с панелью БС в раскрытом положении показан на рис. 3.

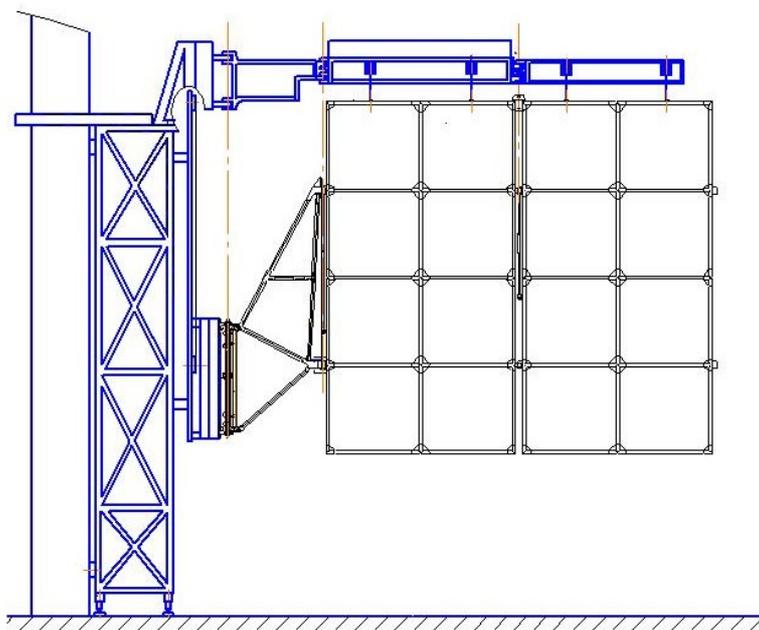


Рис. 3. Общий вид стенда раскрытия с панелью БС1 в раскрытом положении

При проведении раскрытия панели контролируется время раскрытия панели, которое замеряется визуально по времени от момента снятия стопора до момента срабатывания защёлки.

Примечание. Раскрытие панели в стенде проводится без срабатывания пирострел и поэтому датчики в процессе раскрытия не используются.

Направления оптимизации НЭО

Введение стенда раскрытия в состав космического комплекса ведёт к увеличению стоимости работ по созданию КА за счёт затрат на проектирование, изготовление и на проведение НЭО стенда раскрытия, работ по их оптимизации.

Работы по оптимизации затрат проводились по следующим направлениям: универсальность; максимальное совмещение функций; сокращение используемых площадей; совмещение видов испытаний; использование средств систем автоматизированного проектирования.

Как уже было отмечено, конструктивно панели БС1 и БС2 представляют зеркальное отражение друг друга, поэтому

направления раскрытия и стороны засветки ФП у них противоположны.

Чтобы обеспечить раскрытие панелей БС и их засветку, необходимо наличие в составе стенда двух индивидуальных комплектов имитатора посадочных мест и системы обезвешивания под каждую панель.

При этом операция по засветке панелей БС1 и БС2 должна выполняться с разных сторон стенда, что требует больших площадей под рабочее место для засветки, а это не всегда возможно достичь в условиях ЗИ и ЭО.

В результате проведённых работ получены следующие результаты.

На этапе разработки ТЗ на БС и ЧТЗ на разработку стенда раскрытия были проработаны различные варианты стенда, опирающиеся на существующие аналоги стендов раскрытия, обеспечивающих подобные схемы раскрытия панелей БС на ЗИ и в ЭО.

Все аналоги стендов раскрытия имеют в своём составе такой элемент, как «стол», который обладает большими габаритами (приблизительно 8000×8000 мм) и отличается высокими требованиями к поверхности, по которой (в процессе

раскрытия панелей БС) перемещаются на роликах подпружиненные опоры, обеспечивающие обезвешивание панелей БС.

Именно из-за наличия в своём составе стола каждый подобный аналог стенда раскрытия изготавливался в двух экземплярах - для ЗИ и ЭО.

Поэтому при разработке ТЗ в концепцию стенда раскрытия положена идея раскрытия панелей БС по схеме обезвешивания, исключающей наличие стола.

В окончательном виде данная концепция нашла своё отражение в ТЗ на БС и ЧТЗ на разработку стенда. Стенд раскрытия создаётся как единая универсальная структурная единица многократного применения, предназначенная для проведения всего комплекса работ по экспериментальному подтверждению характеристик штатных БС на ЗИ и в ЭО, а также опытного образца БС, изготовленного для проведения КДИ БС.

В составе стенда раскрытия отсутствует стол, а обезвешивание панелей БС обеспечивается за счёт системы обезвешивания, которая состоит из подвижных подкосов, по своему профилю повторяющих контуры панелей БС и обеспечивающих их обезвешивание в процессе раскрытия.

На этапе разработки КД стенд раскрытия представляет собой универсальную структурную единицу, которая может быть задействована как в производственном цикле изготовления на ЗИ штатной БС и технологического макета БС, выполненного для КДИ. В то же время он может быть разобран и отправлен вместе с БС в ЭО, где его можно смонтировать вновь и использовать при проведении наземной эксплуатации штатной БС. После завершения наземной эксплуатации штатной БС стенд раскрытия должен быть снова разобран и транспортирован обратно на ЗИ для проведения следующего цикла работ с новым комплектом штатных БС.

В результате проработки конструкторской документации на БС было выявлено, что если панель БС2 пристыковывать к стенду в развёрнутом на 180° отно-

сительно её штатного положения на КА положении, то становится возможным:

- совместить функции по обезвешиванию и раскрытию панелей БС1 и БС2 в рамках одной системы обезвешивания;

- обеспечить проведение засветки панелей БС1 и БС2 с одной стороны и уменьшить вдвое площадь, занимаемую осветительной аппаратурой при засветке.

В результате в КД на панель БС2 и имитатор посадочных мест стенда были введены требования по их развороту на 180° при проведении работ с панелью БС2.

При проработке вопроса возможности совмещения различных видов испытаний для стенда раскрытия было принято во внимание, что в соответствии с требованиями [1] для стенда раскрытия предусмотрен следующий порядок проведения НЭО:

- заводские испытания, проводимые силами и средствами ЗИ стенда раскрытия;

- автономные испытания стенда на месте эксплуатации;

- комплексные испытания стенда с технологическим макетом БС.

Согласно [1] комплексные испытания стенда раскрытия проводятся с целью определения его работоспособности и готовности к проведению работ со штатными образцами БС.

Задачами комплексных испытаний являются проверки:

- комплектности стенда;

- работоспособности стенда и соответствия технических характеристик и границ работоспособности стенда требованиям ТЗ и КД при проведении штатных технологических операций с технологическим макетом БС;

- метрологического обеспечения испытаний и оценки надёжности стенда;

- другие задачи.

Точно такие же задачи решаются и при КДИ БС, для проведения которых изготавливается технологический экземпляр

БС, по всем характеристикам соответствующий технологическому макету БС.

Таким образом, становится возможным совместить проведение комплексных испытаний стенда раскрытия с технологическим макетом с проведением КДИ БС.

Выводы

1. Стенд раскрытия панелей БС, концепция которого на этапе разработки КД представлена в статье, обеспечивает качественное изготовление БС на ЗИ и её надёжную наземную эксплуатацию в условиях ЭО.

2. Конструкция стенда раскрытия панелей БС, изготовленного в соответствии с разработанной КД, обеспечивает экспериментальное подтверждение всех заданных характеристик батареи солнечной.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 51143-98. Комплексы стартовые и технические ракетно-космических комплексов. Общие требования к испытаниям и приёмке. – М., ГОССТАНДАРТ РОССИИ, 1998.

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE SPECIFIED CHARACTERISTICS OF A SOLAR BATTERY AT THE STAGES OF PRODUCTION AND GROUND OPERATION

© 2012 Yu. P. Shuplyak, V. I. Sorokoletov

State Research and Production Space-Rocket Center "TsSKB-Progress", Samara

The paper deals with one of the directions of upgrading the quality of a solar battery for a space vehicle of the "Bion-M" type connected with the experimental verification of the specified characteristics at the stages of its production and ground operation. The structure of the solar battery panel and the deployment mechanism are presented. Their joint operation during the opening of the panels is described. The directions of ground experimental optimization of the system "Solar battery+ Deployment mechanism" are listed.

Solar battery, life cycle, critical element, quality, quality control, solar battery panel, deployment mechanism, ground experimental optimization, system of engineering analysis of the structure.

Информация об авторах

Шупляк Юрий Петрович, ведущий инженер-конструктор, ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс». Область научных интересов: инженерный анализ механического взаимодействия составных частей космических комплексов.

Сороколетов Владимир Иванович, заместитель начальника отдела, ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс». Область научных интересов: инженерный анализ механического взаимодействия составных частей космических комплексов.

Shuplyak Yury Petrovich, leading design engineer, State Research and Production Space-Rocket Center "TsSKB-Progress". Area of research: engineering analysis of mechanical interaction between components of space systems.

Sorokoletov Vladimir Ivanovich, deputy head of department, State Research and Production Space-Rocket Center "TsSKB-Progress". Area of research: engineering analysis of mechanical interaction between components of space systems.