

СИЛОВАЯ РАМА ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВОЙ АНТЕННЫ БОРТОВОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

С.Н. Волков, Е.В. Кривобоков, А.А. Гусев, С.А. Чаев
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)

Разработана конструкция силовой рамы локатора бокового обзора КА «Метеор-М» №1. Описаны проблемы, возникшие при проектировании и отработке конструкции силовой рамы, а также приведены результаты испытаний.

Ключевые слова: силовая рама, механизм раскрытия, космический аппарат, бортовой радиолокационный комплекс, волноводно-щелевая антенна, динамический образец, летно-конструкторские испытания, тепловой режим.

Космический аппарат (КА) «Метеор-М» №1 оснащен бортовым радиолокационным комплексом (БРЛК) «Северянин-М» [1, 2]. БРЛК осуществляет съемку земной поверхности методом синтезированной апертуры и предназначен для всепогодного и круглосуточного дистанционного зондирования Земли в сантиметровом диапазоне радиоволн. БРЛК обеспечивает решение задач по исследованию природных ресурсов Земли, мониторингу чрезвычайных ситуаций, оперативной гидрометеорологии, включая мониторинг ледовой обстановки.

Волноводно-щелевая антенна (ВЩА), входящая в БРЛК, устанавливается на силовую раму.

Проектирование силовой рамы

Выбор принципа построения силовой рамы. Основные технические требования на разработку силовой рамы (СР) следующие:

- силовая рама должна складываться, чтобы обеспечить компоновку КА под обтекателем;
- конструкция силовой рамы должна выдерживать нагрузки, возникающие на этапе выведения (статические, динамические, акустические и т. д.);
- система раскрытия силовой рамы должна обеспечивать раскрытие в условиях открытого космоса, а также фиксацию в раскрытом положении;
- отклонение от плоскостности посадочных мест силовой рамы под антенные полотна на всей длине должно быть не более 4 мм при штатной эксплуатации во всех режимах работы.

Исходя из компоновки под обтекателем, целесообразно принять конструктивную схему силовой рамы из семи отдельных шарнирно соединенных между собой секций, на каждой из которых размещается секция антенного полотна. При этом центральная секция неподвижно закреплена на корпусе КА.

Наиболее простым способом раскрытия является раскрытие с помощью пружин, размещаемых в каждой из шести осей. Подобная конструкция многократно отработана и применяется для солнечных батарей. Преимуществами подобной схемы являются простота исполнения и надежность.

Одним из недостатков данной схемы являются удары, возникающие во время раскрытия, которые

могут повлиять на геометрические параметры силовой рамы, а, следовательно, негативно сказаться на работе всей антенны. В этом варианте необходимо значительно усиливать шарниры и ставить демпфирующие устройства. При этом при всей простоте и надежности конструкция получается достаточно громоздкой.

Другим вариантом является использование электромеханических приводов в каждой из шести осей. Преимуществом данной схемы раскрытия является возможность независимого управления каждым звеном с регулируемой скоростью. При этом звено можно как раскрывать, так и складывать. При установке датчиков положения в каждом приводе можно с высокой точностью контролировать углы раскрытия всех звеньев силовой рамы.

Недостатки подобной схемы:

- необходимость создания системы управления шестью приводами, что снижает надежность;
- наличие шести цепей питания, что влечет за собой усложнение электро монтажа;
- высокая стоимость;
- отсутствие доступных компактных электроприводов на момент проектирования, разрешенных к применению в условиях открытого космоса;
- необходимость создания наземного испытательного оборудования для управления приводами при наземной отработке.

Еще один вариант – применение одиночного привода для раскрытия каждого крыла силовой рамы. При этом раскрытие осуществляется при помощи механизма с гибкой связью. Применение механизма раскрытия с жесткой связью будет достаточно громоздким и трудно реализуемым.

В схеме всего два привода (по одному на каждое крыло), что уменьшает сложность системы и ее стоимость. Благодаря этому увеличивается надежность.

Недостатками схемы по сравнению со схемой с шестью приводами можно считать невозможность управления отдельными звеньями в процессе раскрытия и отсутствие информации об их точном угле поворота.

По результатам сравнительного анализа вариантов системы раскрытия был выбран последний вариант как наиболее надежный и легко реализуемый.

Конструкция силовой рамы. Силовая рама антенного устройства на КА «Метеор-М» №1 конструктивно состоит из семи секций (ложементов), длина каждой около двух метров. Четвертая секция (корневая) неподвижно закреплена на шпангоутах гермокорпуса. Остальные шесть секций сложены в два пакета по три секции и зачекованы на корпусе.

Ложемент силовой рамы выполнен из стандартного профиля (швеллера) из АМгб и имеет точные поверхности для крепления полотен и контроля отклонения от плоскостности. Для обеспечения стабильности геометрии ложемента при штатной эксплуатации, а также равномерного теплового потока внутри ложемента толщины полок и стенки швеллера выбраны одинаковыми.

Раскрытие силовой рамы производится с помощью тросового механизма. Трос, одним концом неподвижно закрепленный на крайних секциях

(ложементы 1 и 7), проходит через шкивы на ложементах, делая один оборот вокруг каждого шкива (для исключения проскальзывания в шкивах). Второй конец закреплен на шкиве привода. Вращаясь, привод натягивает трос, тем самым осуществляя раскрытие конструкции одного из крыльев. Каждое крыло раскрывается своим собственным приводом. Шкивы в шарнирах могут свободно вращаться вокруг собственной оси и не передают вращающий момент на ложементы. Схема конструкции приведена на рис. 1.

При раскрытии силовой рамы ложементы 1, 2, 6, 7 поворачиваются в шарнирах на угол 180° , ложементы 3 и 5 – на угол 101° . Диаметр шкивов в шарнирах и на приводе одинаковый. Таким образом, при раскрытии шкив привода поворачивается на 1,25 оборота. Соскальзывание троса предотвращается пружинными прижимными механизмами, установленными на шкивах в каждом шарнире.

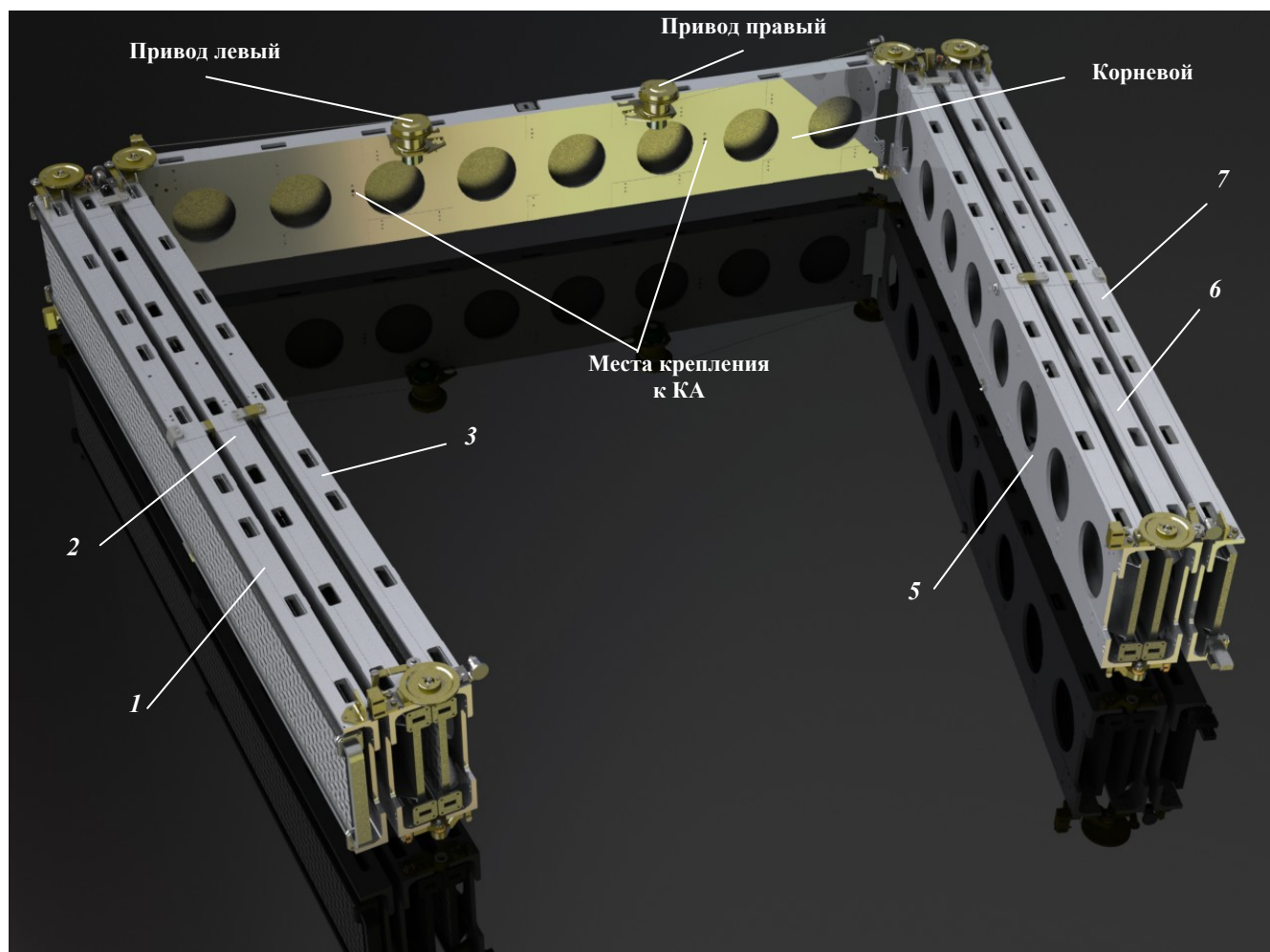


Рис. 1. Схема СР ВЩА БРЛК в процессе раскрытия

Ввиду того, что вся конструкция обладает большой инерцией, то при первоначальном импульсе на раскрытие от привода, вся система начнет раскрытие со скоростью, превышающей скорость вращения вала привода и, следовательно, скорость наматывания троса на его шкив. При этом тормозить раскрытие может только сила трения в подшипниках. Трос начнет провисать и может зацепиться за элементы конструкции, а привод будет работать вхолостую. Это будет продолжаться пока первоначальный импульс не будет погашен силами трения, и привод не натянет трос. Затем привод снова толкнет всю систему, и процесс повторится. Раскрытие будет иметь колебательный характер при условии, что трос не зацепится за элементы конструкции.

Для исключения подобной ситуации трос необходимо постоянно держать в натянутом положении. Для этой цели на выходном валу привода установлен механизм натяжки троса на основе спиральной пружины. Спиральная пружина выбрана потому, что ее характеристика достаточно пологая, т. е. сила пружины в малой степени зависит от количества оборотов, на которые пружина закручена.

Исходя из описанного выше, минимальное количество оборотов, на которое должна быть заведена пружина, равняется 1,25 оборота. Увеличение момента заводки пружины дает дополнительный импульс на раскрытие.

Фиксация ложементов в раскрытом положении производится с помощью механических магнитных упоров. Кроме фиксации, магнитные упоры обеспечивают плоскостность силовой рамы в заданных пределах.

В каждом из шести стыков расположены концевые датчики на основе микропереключателей для получения информации о том, что данный стык полностью раскрыт.

Таким образом, после расчеховки силовая рама раскрывается от пружины механизма натяжения троса, а электромеханический привод заводит пружины с целью увеличения силы прижатия ложементов на магнитных упорах и увеличения жесткости всей системы по окончании раскрытия.

Ложементы силовой рамы и антенные полотна сделаны из различных алюминиевых сплавов, что при изменении температуры в рабочем диапазоне при жестком закреплении может привести к деформации ложементов и полотен ввиду разных коэффициентов теплового расширения. Поэтому антенные полотна жестко закреплены только в двух центральных точках, а в остальных затягиваются регламентированным моментом, обеспечивающим

возможность теплового сдвига антенного полотна относительно ложементов.

Крепление силовой рамы на КА

На этапе выведения силовая рама крепится корневым ложементом к шпангоутам гермокорпуса, а остальные шесть ложементов собраны в два пакета и зачекованы на корпусе.

Корневой ложемент крепится к двум кронштейнам на корпусе КА с помощью двух точных болтов, один затягивается «намертво», второй – регламентированным моментом. В одном из кронштейнов выполнен паз. Подобная схема крепления позволяет скомпенсировать возможные тепловые деформации. Плоскость, на которую крепится корневой ложемент, расположена под углом 5° к оси Z КА.

Поперечный разрез одной из зачековок представлен на рис. 2. Три ложементов сложены параллельно друг другу и связаны клиновидными упорами. На ложементов 3 и 5 располагаются компенсирующие погрешности установки – сферические упоры, заходящие в пазы на плите, закрепленной на гермокорпусе. Ложементов 1 и 7 имеют упоры с наклонной плоскостью, на которую давит упор рычага зачековки. Таким образом, стягивая два рычага, обеспечивается прижатие ложементов к гермокорпусу. Пироболт устанавливается в карданный подвес для компенсации несоосности тяг.

Верхний рычаг имеет два колена (рис. 3) для того, чтобы обойти расположенный над ним кронштейн зачековки солнечных батарей. После подачи сигнала на расчеховку пироболт перегорает, и рычаги откидываются в разные стороны под действием пружин кручения, расположенных в осях рычагов.

Для того, чтобы исключить приход статического заряда на контакты пироболта ставится изоляционная втулка. Пружина сжатия обеспечивает дополнительное растягивающее усилие на случай, если пироболт не перегорел полностью. Гайки на тягах затягиваются регламентированным моментом.

Обеспечение теплового режима

Силовая рама должна обеспечивать сохранность геометрических параметров на протяжении всего срока службы. На этапе штатной эксплуатации одна сторона ложементов освещена солнцем, а вторая, где расположено антенное полотно, находится в тени. Для выравнивания температуры между ложементом и полотном для исключения тепловых деформаций, освещаемую солнцем поверхность закрывают матами экранно-вакуумной теплоизоляции (ЭВТИ), а на антенном полотне располагают электронагреватели. Телеметрирование температуры ложементов и полотен производится с помощью термодатчиков, расположенных в центре каждого ложементов и полотна.

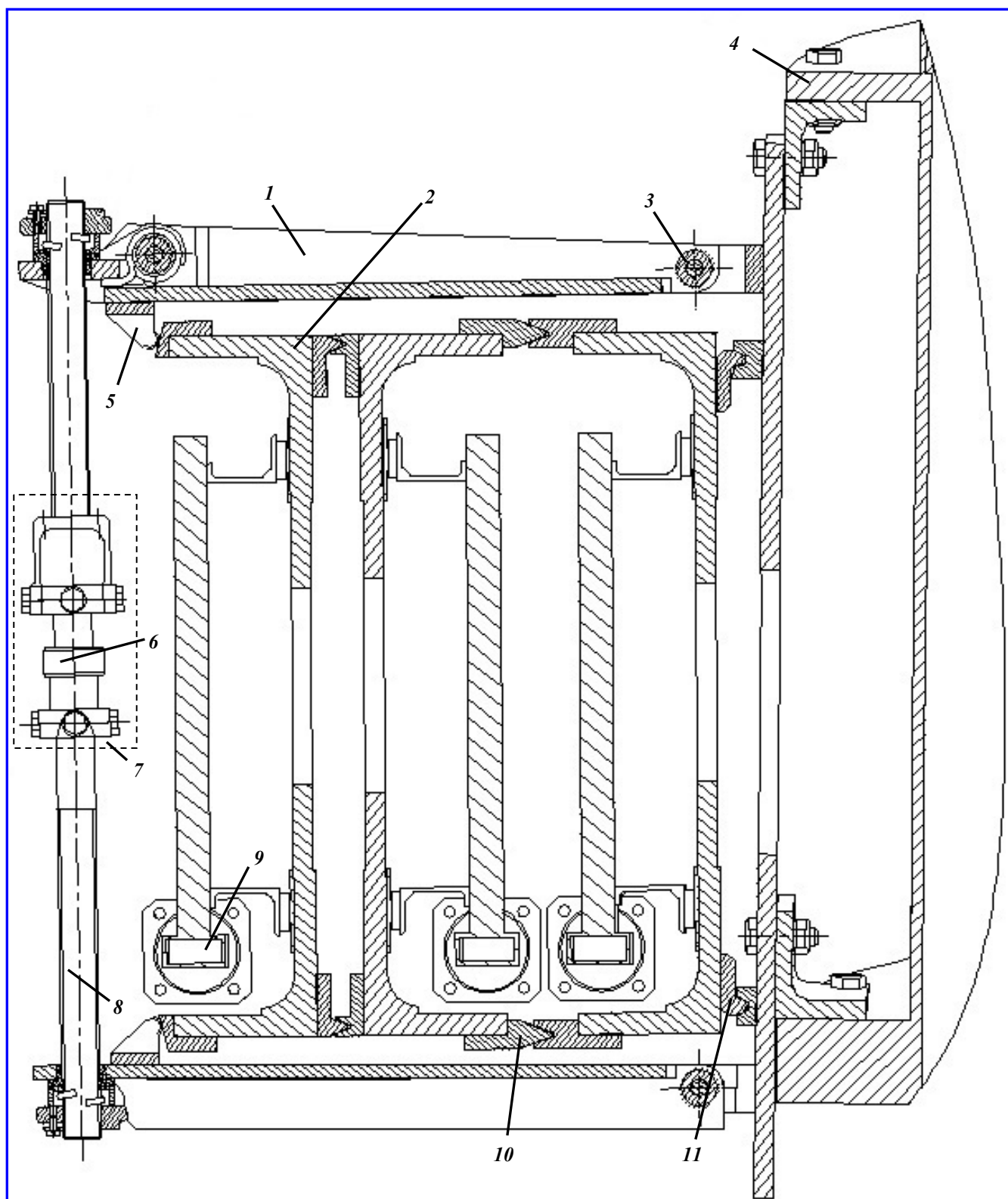


Рис. 2. Зачековка силовой рамы ВЩА БРЛК: 1 – рычаг зачековки; 2 – ложементы; 3 – пружина; 4 – гермокорпус; 5 – упор рычага; 6 – пироболт; 7 – карданный подвес; 8 – тяга; 9 – антенные полотна; 10 – клиновидные упоры; 11 – сферические упоры

Наземная отработка силовой рамы

Для отработки конструкции силовой рамы были изготовлены макетный, динамический и летный образцы, а также тепловой макет ложементов силовой рамы. Конструкция динамического образца полностью соответствовала летной.

Макетирование. Для первоначальной отработки системы раскрытия и предварительной оценки требуемого момента привода был спроектирован, изготовлен и испытан макет одного крыла силовой рамы в натуральную величину. В результате макетирования была доказана возможность раскрытия силовой рамы выбранным методом, а также получена информация о характере процесса раскрытия. Раскрытие макета производилось на роликовых опорах.

Сборка. Сборка силовой рамы осуществлялась в два этапа: сборка ложементов по отдельности и сборка силовой рамы из ложементов.

Ввиду того, что сборка подобных конструкций ранее не проводилась, потребовалось разработать специальный сборочно-юстировочный стенд (рис. 4), позволяющий производить сборку, раскрытие и измерение параметров силовой рамы.

На этапе проектирования стенда не было до конца ясно, какую траекторию будут описывать ложементы при раскрытии, поэтому выбрана конструкция стенда, позволяющая перемещать каждый ложемент независимо от других по произвольной траектории.

Стенд состоит из шести кронштейнов, закрепленных на стене. На кронштейнах крепятся две направляющие. По направляющим движутся шесть траверс. На каждой траверсе перпендикулярно направляющим двигается каретка. К каждой каретке с помощью троса крепятся ложементы. С целью компенсации нагрузки на шарниры силовой рамы, оказываемой во время сборки и раскрытия, ложементы крепятся к каретке через пружину и динамометр. Динамометр позволяет обезвесить ложемент, а пружина компенсирует неточности стенда.

Сборка силовой рамы начинается с установки корневого ложементов на технологическом столе. Затем справа и слева к нему подстыковываются ложементы правого и левого крыльев.

При отработке конструкции на стенде сборки раскрытие силовой рамы производилось как вручную, так и при помощи приводов. После окончания сборки динамического и летного образцов на этом стенде в раскрытом положении силовой рамы, по специально разработанной методике, проводились измерения отклонения от плоскостности на всей рабочей

длине, а также измерение величины ослабления сигнала на выходе фидерного тракта.

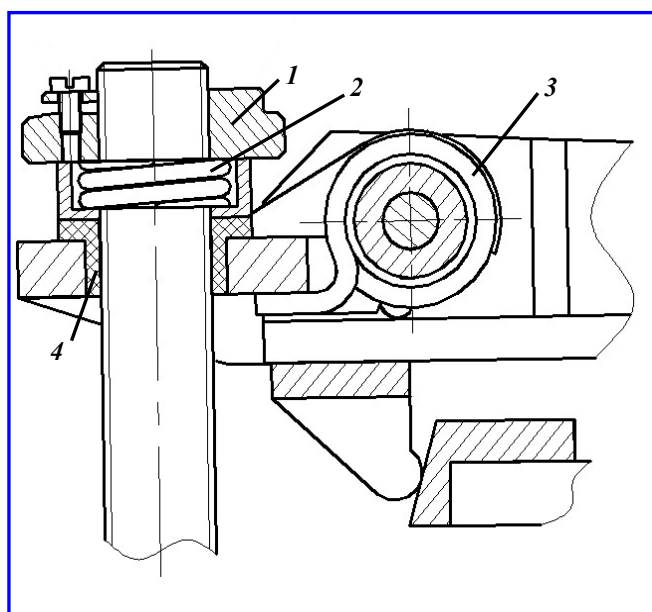


Рис. 3. Верхний рычаг зачекочки: 1 – гайка; 2 – пружина сжатия; 3 – пружина кручения; 4 – изоляционная втулка

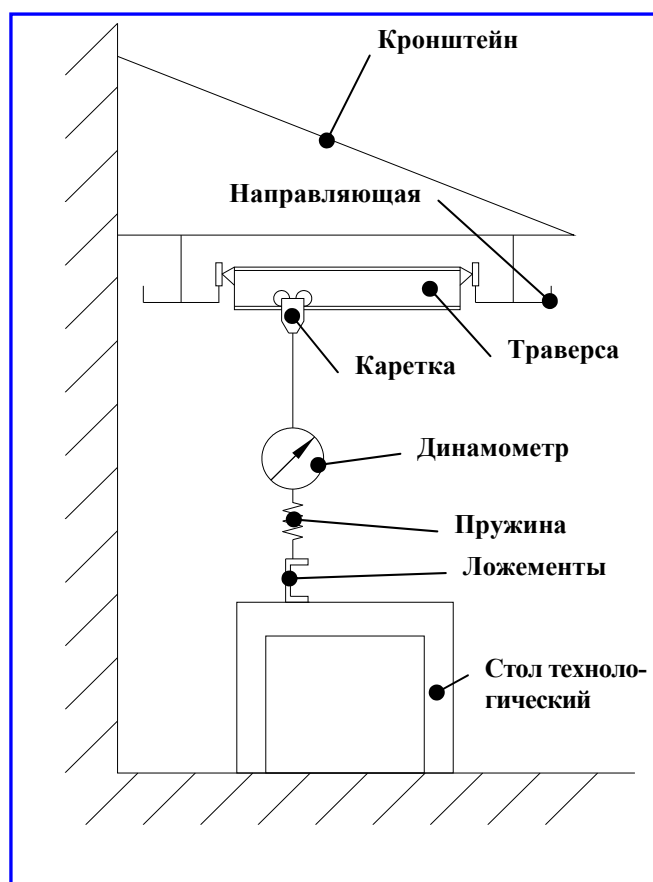


Рис. 4. Общий вид стенда сборки

Испытания. Испытания проводились на динамическом и летном образцах силовой рамы.

Цели испытаний:

- экспериментальная отработка тепловых воздействий на работоспособность конструкции силовой рамы;
- экспериментальная отработка и проверка вибропрочности конструкции силовой рамы;
- проверка на электромагнитную совместимость антенны БРЛК с КА «Метеор-М» № 1.

При этом решались следующие задачи:

- определение тепловых деформаций при расчетном перепаде температур между силовой рамой и антенным полотном;
- определение момента затяжки болтов крепления секций антенного полотна к элементам конструкции силовой рамы для обеспечения возможности теплового сдвига антенного полотна относительно ложементов силовой рамы;
- определение момента затяжки болтов крепления корневого ложемент силовой рамы к корпусу КА «Метеор-М» № 1 для исключения влияния теплового расширения корпуса КА на плоскостность силовой рамы;
- проверка механической прочности и сохранности юстировочных характеристик после динамических испытаний;
- проверка достаточности момента затяжки винтов крепления секции антенного полотна к элементам конструкции силовой рамы после её динамических испытаний. При данных испытаниях проверялось

насколько изменилось положение антенных полотен после динамических испытаний;

- проверка влияния условий эксплуатации изделия «Метеор-М» № 1 на зазор между фланцами секций антенных полотен.

Лабораторно-отработочные тепловые испытания. Схема лабораторных испытаний приведена на рис. 5. В ходе испытаний ложемент (тепловой макет) с установленным на нем антенным полотном (динамический образец) 1 устанавливался вертикально на полу. На верхнем крае ложемента закреплен лазер 2, направленный на экран 3, находящийся на расстоянии L_1 от ложемента.

На экране нанесена вертикальная и горизонтальная шкалы, по которым определялась деформация ложемента.

На антенном полотне были установлены температурные датчики T_1 и T_2 (T_1 – на тыльной стороне, T_2 – на излучающей стороне), на силовой раме T_3 и T_4 (T_3 – на ребре, T_4 – на полке). Датчики защищены от теплового потока отражающей фольгой. Показания термодатчиков $T_1; T_2; T_3; T_4$ переводились в °С с помощью тарировочных таблиц, прилагаемых к каждому датчику.

Тепловой поток формировался пятью лампами по 0,5 кВт каждая, установленными так, чтобы прогревать объект испытаний по всей длине.

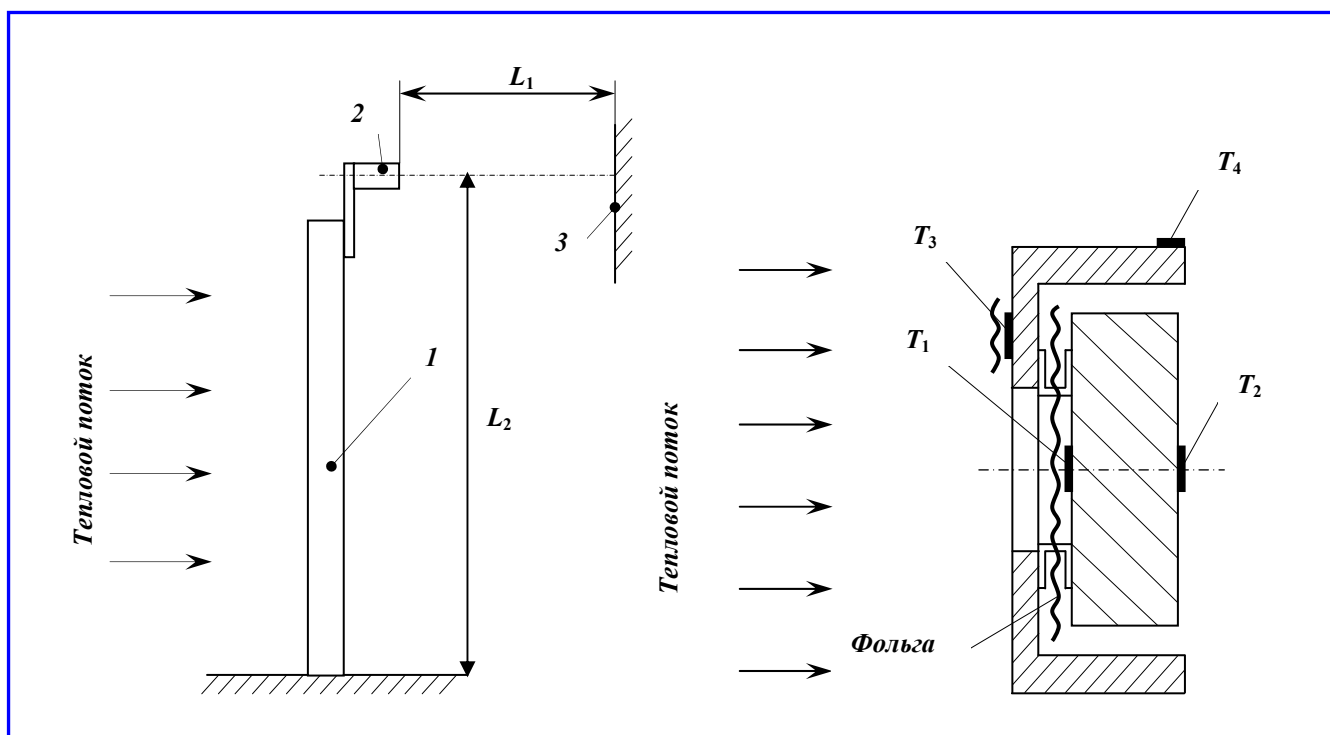


Рис. 5. Схема лабораторных испытаний

Для обеспечения теплового перепада между силовой рамой и антенным полотном полотно со стороны теплового потока было защищено алюминиевой фольгой.

Деформации x антенной секции с ложементом контролировались по смещению лазерного луча от исходного положения Δ на экране. Деформация рассчитывалась по формуле: $x = \Delta L_2 / L_1$.

Выводы. Крепление антенного полотна к силовой раме должно быть фиксировано только одной парой винтов в средней части силовой конструкции, чтобы исключить деформации из-за температурного перепада между силовой рамой и антенным полотном при эксплуатации.

Затяжка остальных винтов крепления должна осуществляться с регламентированным моментом для обеспечения температурного сдвига полотна относительно силовой рамы.

Для постоянства регламентированного усилия затяжки необходимо:

- изготавливать антенное полотно из одного материала с одинаковым коэффициентом теплового расширения;

- обеспечивать и контролировать неплоскостность антенного полотна в пределах 0,1 мм в свободном состоянии.

Динамические испытания. Испытаниям подвергались как динамический, так и летный образцы силовой рамы. Целью испытаний динамического образца являлась проверка механической прочности силовой рамы и узлов зачекочки. Динамический образец силовой рамы испытывался в составе динамического образца КА «Метеор-М» №1, при этом вместо штатных антенных полотен устанавливались массовые имитаторы.

При испытаниях летных образцов антенных полотен четыре летные секции антенного полотна были установлены на силовой раме, а остальные были заменены массовыми имитаторами.

Испытания проводились с целью проверки силовой рамы на механическую прочность, сохранность геометрических параметров и характеристик волнового тракта антенны, а также достаточность величины момента затяжки винтов крепления антенных полотен на силовой раме.

Предварительно была проведена проверка геометрических параметров силовой рамы. В ходе проверки замерялись отклонения от плоскости на длине четырех ложементов, включая корневой, а также определялись величины зазоров между фланцами волноводов антенных полотен.

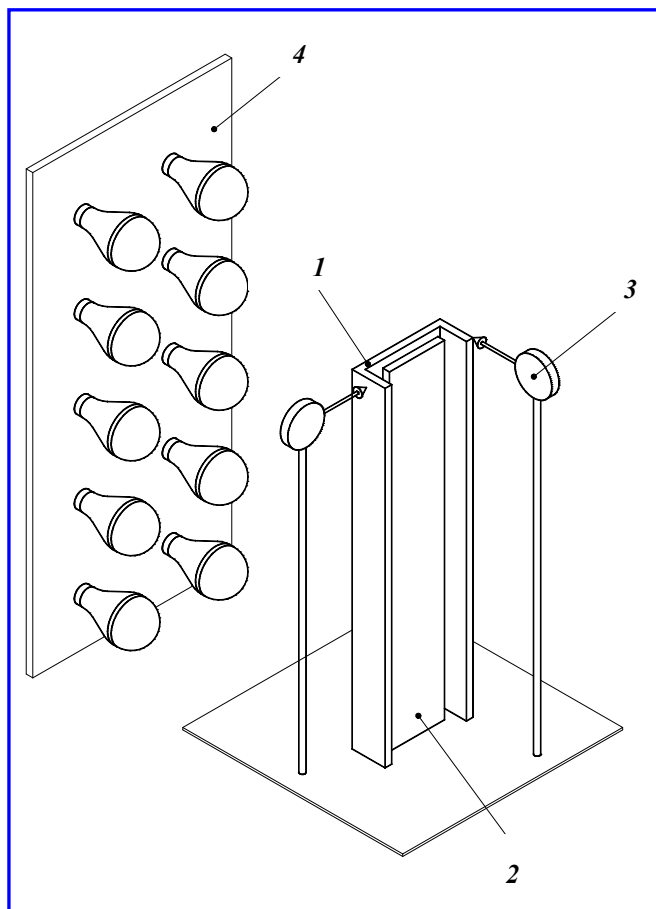


Рис. 6. Схема первого этапа тепловых испытаний: 1 – ложемент с матом ЭВТИ; 2 – антенное полотно; 3 – стойки с индикаторами; 4 – блок нагревательных ламп

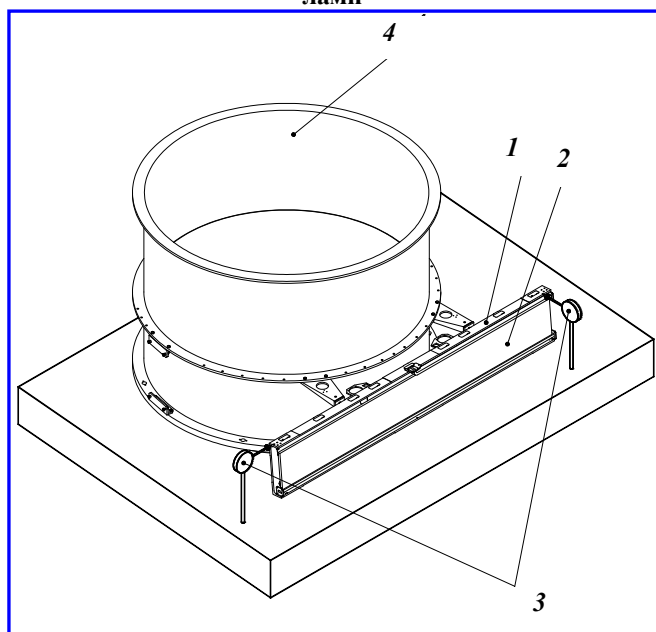


Рис. 7. Схема второго этапа тепловых испытаний: 1 – ложемент с матом ЭВТИ; 2 – антенное полотно; 3 – стойки с индикаторами; 4 – корпус «К»

После динамических испытаний была проведена повторная проверка геометрических параметров силовой рамы с определением отклонения от плоскости и определением величин зазоров между фланцами волноводов. Также до и после виброиспытаний замерялась величина ослабления сигнала на выходе фидерного тракта.

Испытания динамического и летного образцов показали соответствие силовой рамы заданным техническим требованиям.

Тепловые испытания летных образцов ложементов. Испытания проводились с целью измерения деформации силовой рамы при расчетном перепаде температур между силовой рамой и антенным полотном, полученном по результатам теплового расчета, а также для определения момента затяжки болтов крепления антенных полотен к ложементам силовой рамы и момента затяжки болтов крепления корневого ложементов к корпусу.

Испытания проводились в два этапа:

– ложемент с установленными на нем антенным полотном и матами ЭВТИ закреплялся вертикально на столе (рис. 6). Тепловой поток формировался с помощью стоек с высокоомощными лампами. Деформация замерялась при помощи высокоточных индикаторов в двух направлениях. На ложементе и антенном полотне установлены термодатчики. Испытания имитировали ситуацию, когда ложементы с одной стороны освещены солнцем, а антенное полотно, находящееся в тени, с другой;

– корневой ложемент с антенным полотном закреплялся на динамическом корпусе 4 (рис. 7). Ложемент охлаждался с помощью сухого льда, при этом корпус 4 оставался при нормальной температуре. Таким образом имитировалось положение корневого ложементов в тени гермокорпуса. На ложементе, антенном полотне и корпусе были установлены термодатчики.

Проведенные тепловые испытания подтвердили правильность принятых конструктивных решений. Определены величины моментов затяжки винтов крепления антенных полотен к ложементам силовой рамы, а также величина момента затяжки болтов крепления корневого ложементов к корпусу 4. Результаты испытаний приведены на рис. 8, 9.

Из диаграммы на рис. 8 следует, что при расчетном перепаде температур между антенным полотном и ложементом $0,7^\circ\text{C}$ деформация ложементов не превышает $0,07$ мм.

Из диаграммы на рис. 9 следует, что при расчетной температуре эксплуатации силовой рамы в натуральных условиях (-40°C) деформация ложементов ожидается в пределах $0,14$ мм.

Испытания на электромагнитную совместимость (ЭМС). Антенна-локатор является источником высокочастотного излучения, которое может негативно сказаться на работе других блоков, приборов и антенно-фидерных устройств (АФУ). Для изучения взаимовлияния АФУ проводились испытания на электромагнитную совместимость. Для этих целей был создан антенный макет КА. Испытания проводились в безэховой камере (БЭК) ФГУП «НПП ВНИИЭМ». Схема испытаний приведена на рис. 10.

Из-за невозможности разместить силовую раму в БЭК целиком, испытания проводились на трех технологических секциях. Антенный макет КА устанавливался в стенд под углом. При испытаниях использовались антенные макеты всех АФУ из состава КА «Метеор-М» №1. Антенна метрового диапазона, а также два антенных полотна БРЛК устанавливались на деревянных подставках.

Испытание на раскрытие в составе КА. Для отработки раскрытия силовой рамы был спроектирован и изготовлен стенд раскрытия силовой рамы (рис. 11).

Стенд разделен на две половины – левую и правую (рис. 12). Каждая половина состоит из установленной на основании колонны, на которой располагается поворотная рама 6 и стрела 7. Поворотные рамы служат для раскрытия ложементов 3 и 5 силовой рамы. Ложементы 1, 2, 6 и 7 закреплены на каретках, катящихся по направляющим на стрелах. С целью компенсации влияния стенда на раскрытие антенны на поворотных рамах установлен торсион.

Подвеска стенда раскрытия аналогична той, которая используется в стенде сборки.

Для удобства регулировки показаний динамометров на каретках и на поворотных рамах имеются храповые механизмы.

Стенд имеет два основных положения – исходное и раскрытое (рис. 13). В исходном состоянии производится соединение со стендом и обезвешивание ложементов силовой рамы.

Поворотные рамы 6 предназначены для раскрытия ложементов 3 и 5, совершающих вращательное движение. На стрелах 7 подвешены ложементы 1, 2, 6 и 7, совершающие плоское движение. Стрела совершает вращательное движение. На ней имеются две каретки, которые, перемещаясь по направляющей вдоль всей стрелы, обеспечивают необходимую свободу движения подвешенным на стреле ложементам. Рабочий угол поворотной рамы составляет 101° , рабочий угол стрелы 90° .

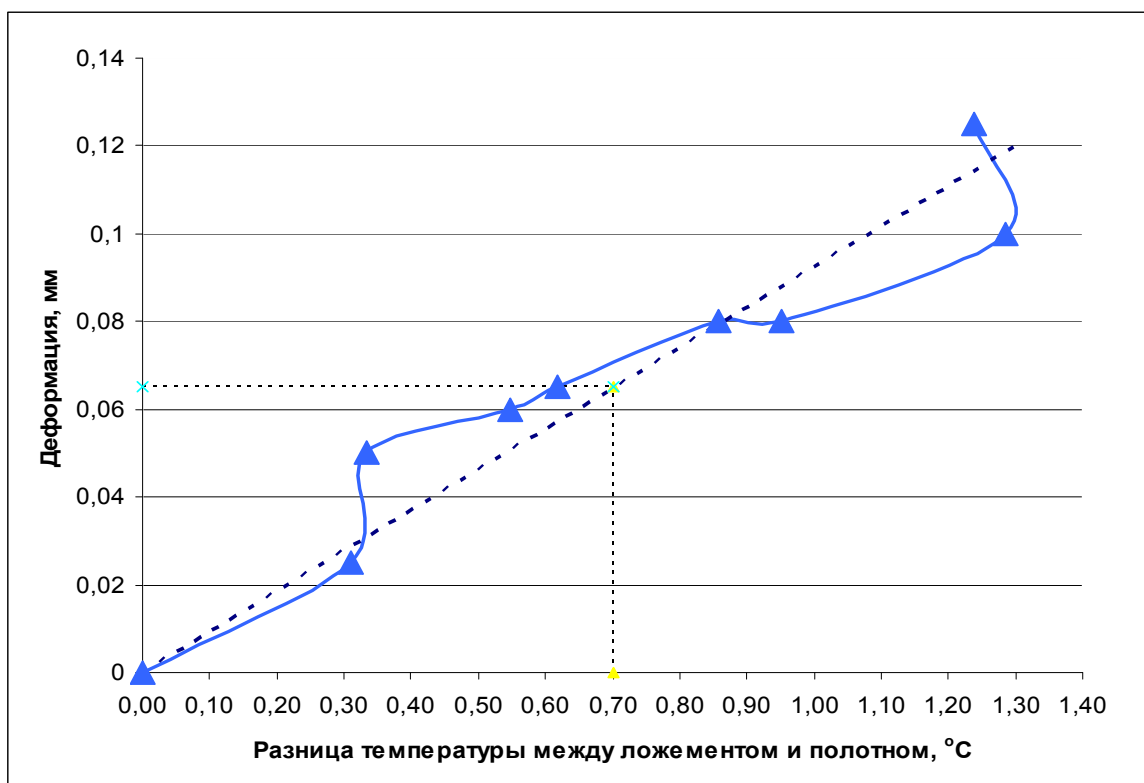


Рис. 8. Деформация ложемент с полотном закрепленного консольно, с моментом затяжки 0,02 Н·м

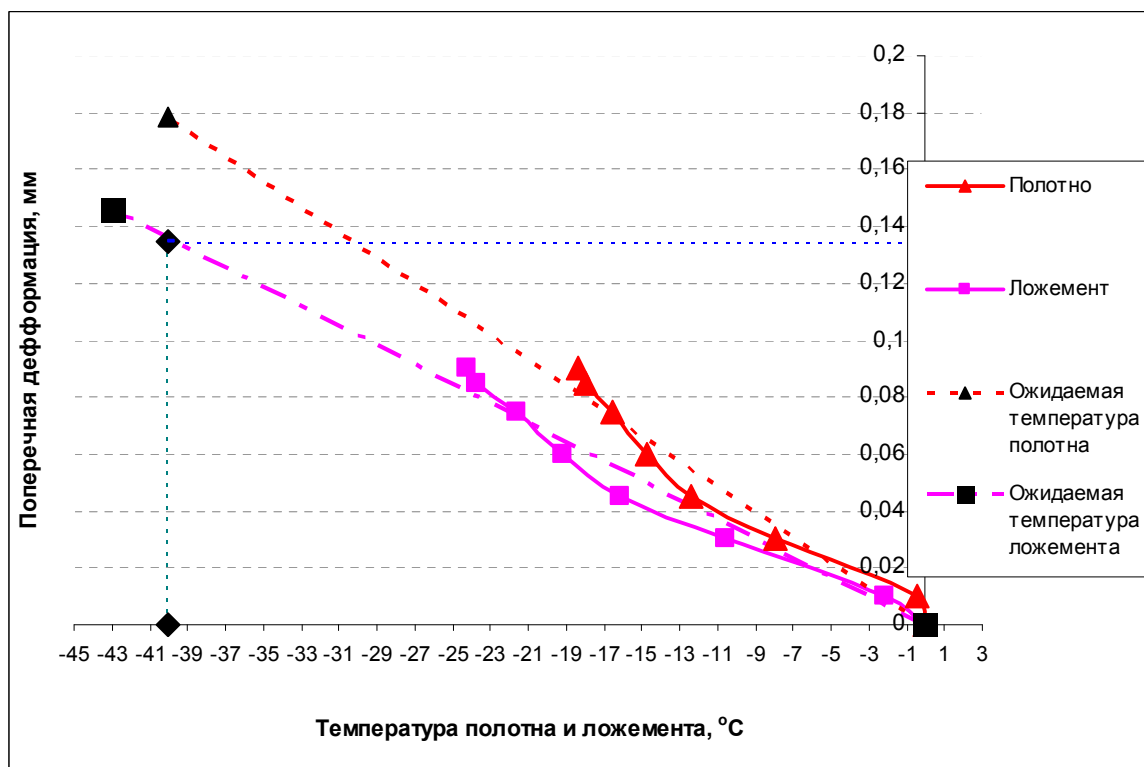


Рис. 9. Деформация корневого ложемент с полотном закрепленного на корпусе «К» с моментом затяжки 1,25 Н·м

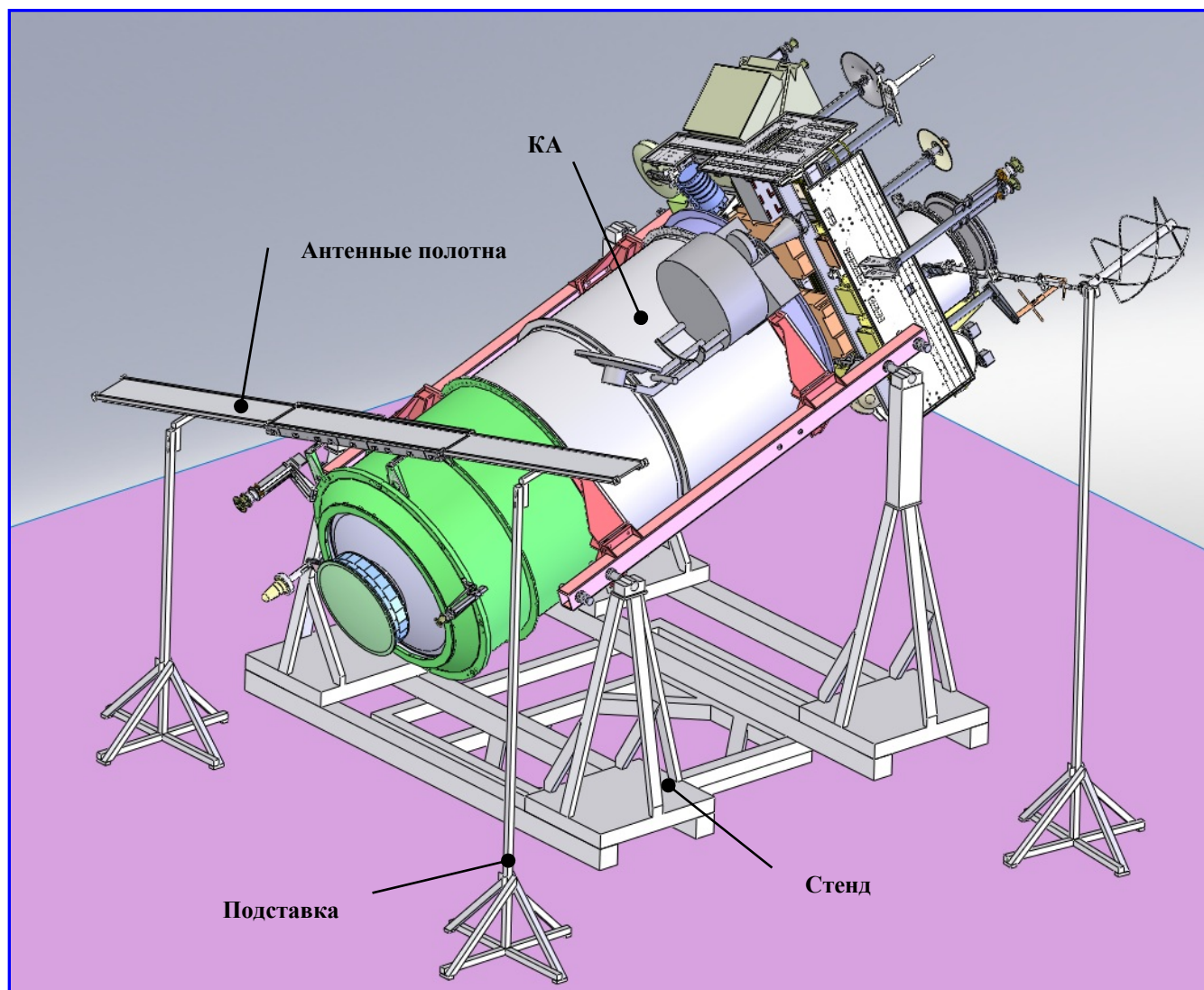


Рис. 10. Схема испытаний на ЭМС

В исходном положении силовая рама зачехлена на корпусе КА. После расчеховки поворотные рамы поворачиваются, повторяя траекторию движения центров масс ложементов 3 и 5. Стрела разворачивается относительно поворотной рамы.

Каретки, на которых подвешены ложементы, находившиеся в начале движения около оси вращения стрелы, двигаются вдоль направляющей стрелы, повторяя траекторию движения центров масс ложементов 1, 2, 6 и 7.

В раскрытом положении поворотная рама и стрела составляют прямую линию. Каретки, к которым подвешены ложементы 2 и 5, стоят на середине стрел 7, каретки, на которых подвешены ложементы 1 и 7, стоят на концах стрел.

Для обеспечения транспортировки на полигон стенд выполнен разборным.

Заключение

КА «Метеор-М» №1 запущен на орбиту в сентябре 2009 г. На девятом витке произошла расчеховка и раскрытие силовой рамы. В процессе летно-конструкторских испытаний не был получен сигнал с одного из датчиков конечного положения, телеметрирующего раскрытие стыка ложементов 5 и 6. В ходе проведенного анализа и наземных испытаний выявлено, что наиболее вероятной причиной мог стать отказ концевой датчика из-за деформации пружины нажимного механизма.

В силовой раме на КА «Метеор-М» №2 возможность отказа датчика устранена путем изменения конструкции нажимного механизма, кроме того введены усовершенствования конструкции, позволяющие значительно упростить процесс сборки и монтажа, а также увеличить надежность изделия. Одним из таких нововведений является защелка-

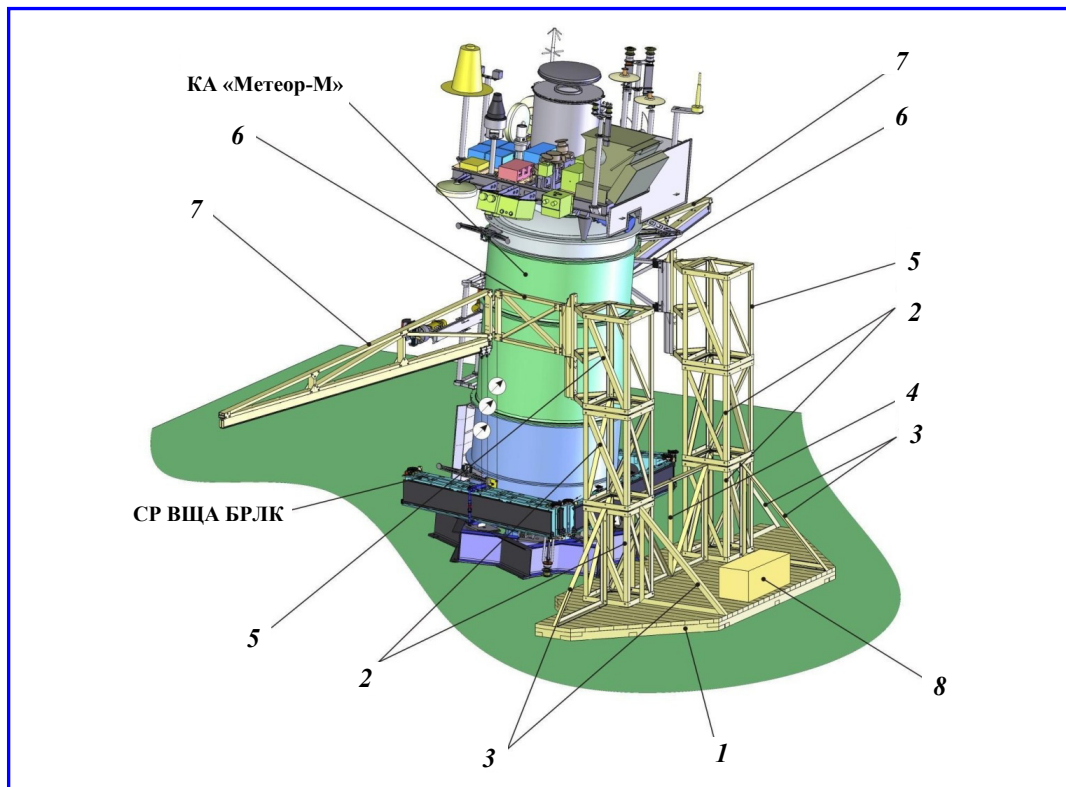


Рис. 11. КА на стенде раскрытия: 1 – основание; 2, 5 – фермы; 3 – раскосы; 4 – перемычка; 6 – поворотные рамы; 7 – стрелы; 8 – груз-противовес

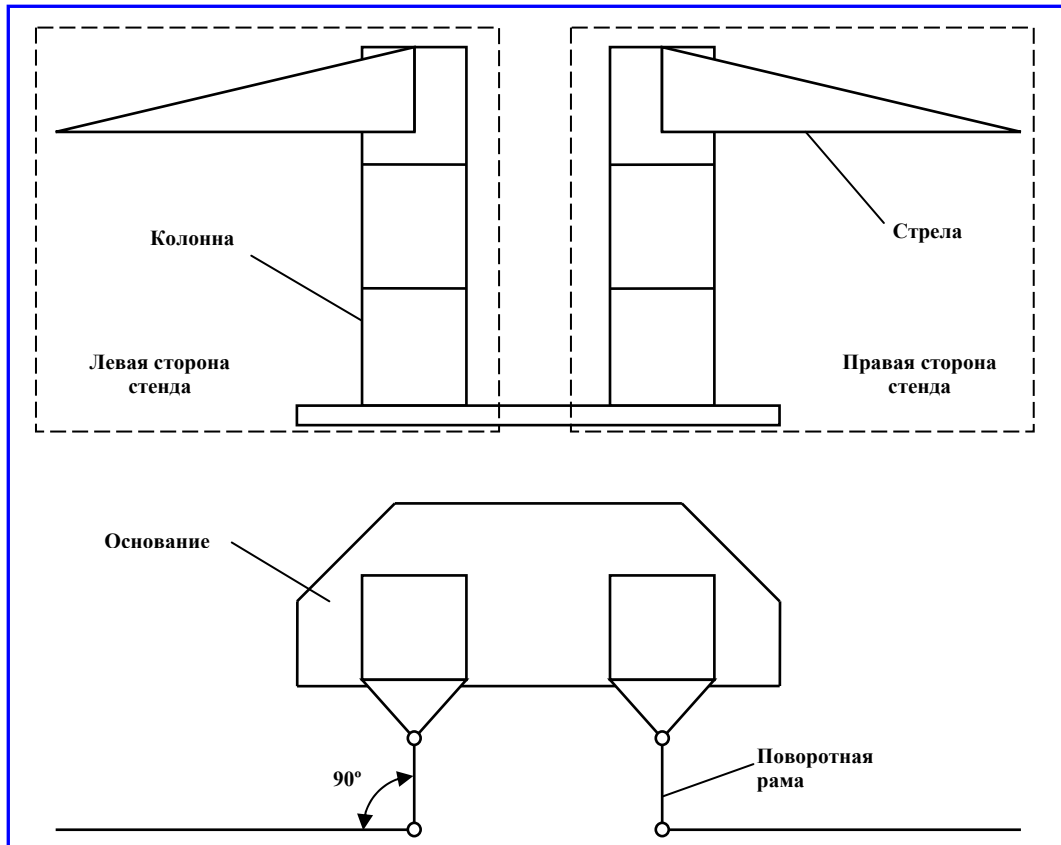


Рис. 12. Принципиальная схема стенда раскрытия

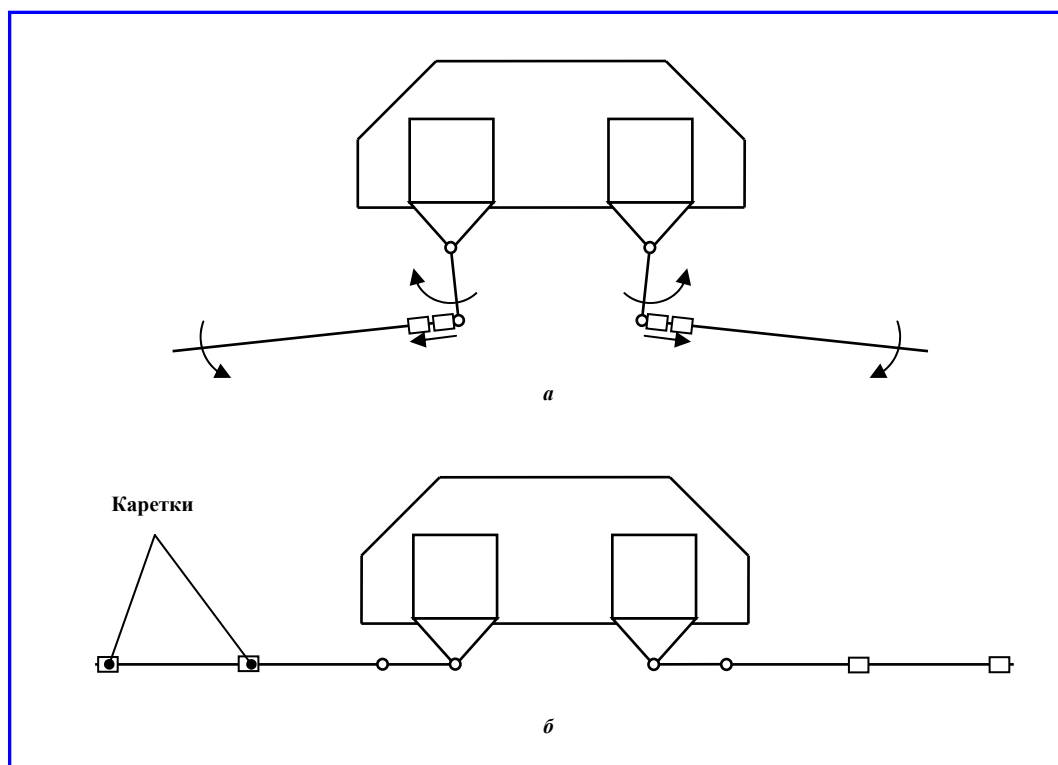


Рис. 13. Основные положения стенда раскрытия: *a* – исходное; *б* – раскрытое

демпфер, позволяющая более надежно фиксировать ложементы в раскрытом положении, а также гасить часть кинетической энергии раскрытия.

Силовая рама является сложнейшим механизмом, при разработке которого приходилось решать множество разнородных проблем, а главное обеспечить высочайшую точность раскрытия и сохранность геометрических параметров на протяжении срока активной эксплуатации.

Литература

1. Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с космическим аппаратом «Метеор-М» №1: справочные материалы. – М: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2008. – 143 с.
2. Механизм раскрытия силовой рамы волноводно-щелевой антенны бортового радиолокационного комплекса КА «Метеор-М» №1 / Е.В. Кривобоков, А.А. Гусев, Б.В. Карбасников [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды НПП ВНИИЭМ. – М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2009. – Т.112. – №5. – С. 23 – 28.

Поступила в редакцию 31.05.2010

Сергей Николаевич Волков, д-р техн. наук, 1-й зам. генерального директора-генерального конструктора, т. 366-42-56, e-mail: vniiem@vniiem.ru.

Евгений Валентинович Кривобоков, начальник сектора, т. 623-40-22, e-mail: vniiem@orc.ru.

Андрей Александрович Гусев, аспирант, ведущий инженер-конструктор, т. 623-41-08, e-mail: count_rochester@mail.ru.

Сергей Анатольевич Чаев, ведущий инженер-конструктор, т. 623-38-41, e-mail: vniiem@orc.ru.