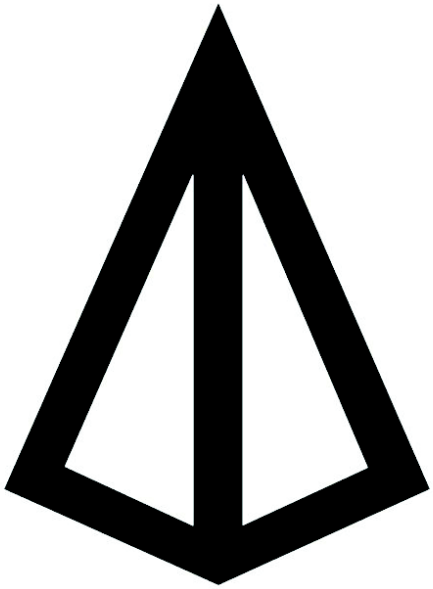


Космический аппарат «Маяк». Программа и методика испытаний на статическую и вибродинамическую прочность

Индекс документа	Версия	Дата
МАЯК-ВДИ- ПМ-1	Новый	22.04.2016

Разработчик:

Руководитель проекта «Маяк» _____ А.Ю. Шаенко

Содержание

Реферат 2
1. Объект испытаний, его состав и назначение 3
2. Цели и задачи испытаний 6
3. Организация испытаний 6
4. Виды, последовательность и объем испытаний 7
5. Условия проведения испытаний на прочность 9
6. Методика проведения испытаний 9
7. Оценка результатов испытаний 21
8. Техника безопасности 21
9. Отчетность 22
Приложение А. Перечень вибродатчиков, устанавливаемых на КА «Маяк». 23
Приложение Б. Габаритный чертеж КА «Маяк» 27
Приложение В. Перечень ссылочных документов 28

Реферат

Настоящая программа и методика определяет цели, задачи, виды, объем, порядок и условия проведения испытаний космического аппарата (КА) «Маяк» при транспортировании и выведении с помощью РН.

В процессе подготовки и проведения испытаний программа может быть уточнена и дополнена.

Программа составлена в соответствии с требованиями ГОСТ В 22619-90.

1. Объект испытаний, его состав и назначение

Объектом испытаний является космический аппарат (КА) «Маяк», размещенный в транспортно - пусковом контейнере (ТПК).

1.1. Конструкторско – силовая схема и инерционно – массовые характеристики

Космический аппарат «Маяк» представляет собой кубсат 3U, выполнен в соответствии с требованиями стандарта Cubesat Design Specifications [1].

В состав КА входят:

Солнечный отражатель,

- Светоотражающие поверхности,
- Контейнер отражателя,
- Механизм раскрытия,

Система управления,

- Плата полезной нагрузки (управление раскрытием отражателя),
- Плата бортового компьютера,

Система электропитания,

Реактор-двигатель,

Силовая конструкция.

Масса КА составляет 3,63 кг, габаритные размеры соответствуют стандарту Cubesat 3U (340,5 мм х 100 мм х 100 мм). Источниками энергии для работы бортовой аппаратуры являются химические источники тока.

КА «Маяк» предназначен для:

– испытаний аэродинамического тормозного устройства,

– уточнения модели взаимодействия космического аппарата, имеющего малое значение баллистического коэффициента, с верхними слоями атмосферы,

– отработки методики расчета видимой звездной величины малого космического аппарата.

Внешний вид КА «Маяк» в транспортном положении с указанием мест расположения бортовых систем приведен на Рисунке 1.1, габаритный чертеж и система координат КА «Маяк» – на Рисунке 1.2.

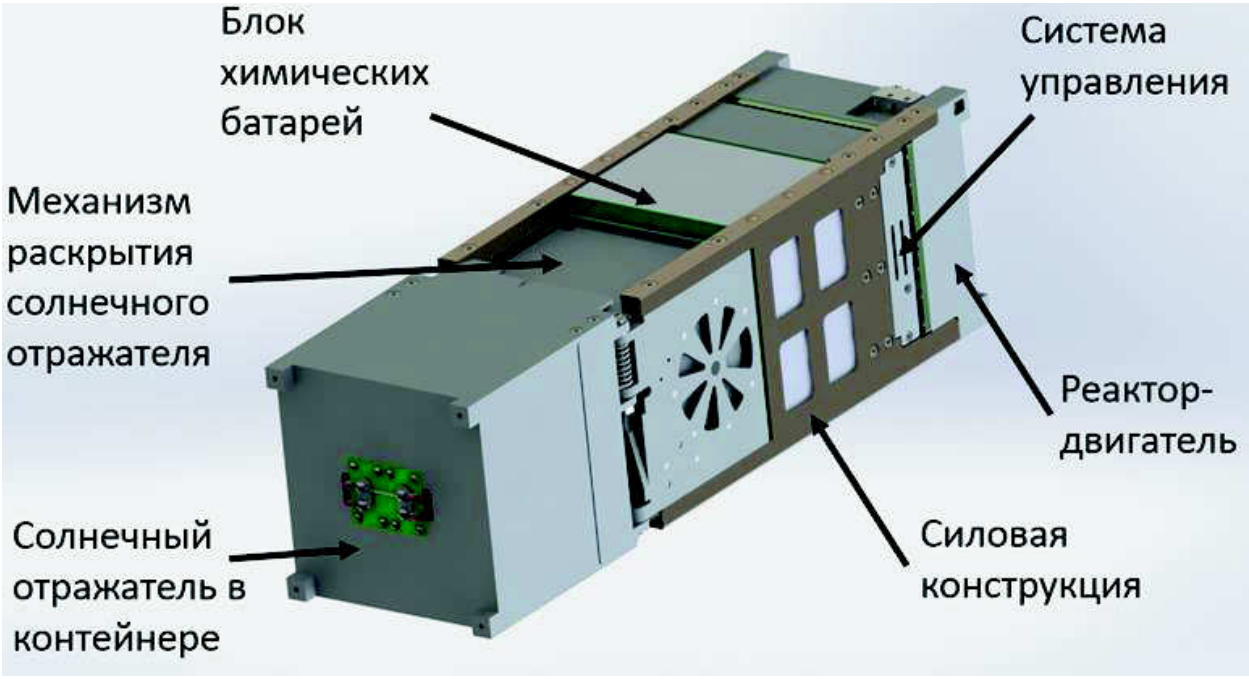


Рисунок 1.1 – Внешний вид КА «Маяк» в транспортном положении с указанием мест расположения бортовых систем

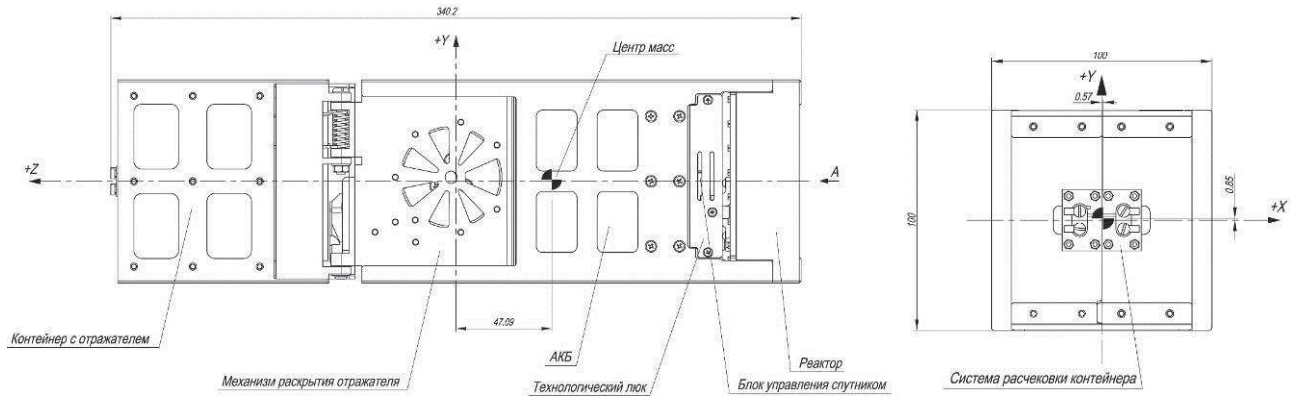


Рисунок 1.2 – Габаритный чертеж и система координат КА «Маяк»

Массовые характеристики КА «Маяк», вне пускового контейнера PSL-P, показаны в Таблице 1.1. Значения и размеры относятся к системе координат спутника.

Таблица 1.1 - Массовые характеристики КА «Маяк»

	Взвешенный	**Макс. или допуск**
Масса при запуске (кг)	3,63	±0,25
Положение центра масс по оси X (мм):	0,57	±0,06
Положение центра масс по оси Y (мм):	0,85	±0,09
Положение центра масс по оси Z (мм):	-47,09	±4,8
Момент инерции вокруг центра масс по оси XX: (кг·м^2):	0,04	±0,005
Момент инерции вокруг центра масс по оси YY: (кг·м^2):	0,03	±0,003
Момент инерции вокруг центра масс по оси ZZ: (кг·м^2):	0,01	±0,001

Перед испытаниями должно быть проведено взвешивание КА «Маяк» на весах с погрешностью не более ±0,25 кг и определено соответствующее ей положение центра масс в направлении осей X, Y, Z с погрешностью измеряемой величины – не более 0,01 м. Несоответствие масс при взвешивании приведенным выше теоретическим значениям не является браковочным признаком.

1.2. Комплектация объекта для испытаний и подготовительные работы

1.2.1. Испытывается летный образец КА «Маяк». КА состыковывается испытательным приспособлением по плоскости стыка через ТПК, при этом КА «Маяк» размещается в ТПК.

1.2.2. Приспособление для крепления КА «Маяк» к вибростенду и к центрифуге для испытания в трех взаимно-перпендикулярных направлениях разрабатывается и изготавливается разработчиком КА «Маяк» на основе габаритного чертежа КА «Маяк» и ТПК, приложение Б.

1.2.3. На ТПК, в котором размещается КА «Маяк» установить трехосевой акселерометр Brüel&Kjær 4504A в количестве 1 штуки и одноосевые акселерометры Brüel&Kjær 4519 или Brüel&Kjær 4513 или KD91 в количестве 16 штук в соответствии с Приложением А и Рисунками ПА1, ПА2 и ПА3. После установки акселерометров проложить к ним кабельную сеть.

1.2.4. Все работы при проведении испытаний изделия фиксировать в технологическом формуляре.

2. Цели и задачи испытаний

2.1. Цель испытаний

Целью проведения испытаний является отработка прочности изделия при воздействии статических и динамических нагрузок в соответствии с принятыми расчетными случаями нагружения.

2.2. Задачи испытаний

В ходе проведения испытаний решаются следующие задачи:

1. Экспериментальное подтверждение прочности конструкции изделия при расчетных нагрузках;

2. Определение собственных частот изделия и его агрегатов;

3. Экспериментальная проверка методов расчета конструкции на прочность;

4. Оценка характеристик изделия при имитации условий транспортирования;

5. Проверка качества технологии изготовления и сборки изделия.

3. Организация испытаний

3.1. Методы и средства обеспечения испытаний

3.1.1. Испытания проводятся исполнителем испытаний.

3.1.2. Необходимые измерения при испытаниях выполняет отдел стендовых телеизмерений.

3.1.3. Испытания проводятся с участием представителей отдела прочности и разработчиков КА «Маяк».

3.1.4. В процессе проведения всех видов испытаний ведется их видеодокументирование с записью звука. В процессе видеосъемки в кадре должен находиться объект испытаний.

3.1.5. Испытания проводятся согласно ГОСТ В 22619-90.

3.1.6. Для проведения испытаний необходима следующая материальная часть:

– приспособление для крепления изделия к вибростенду для испытаний в трех взаимно-перпендикулярных направлениях;

– вибростенд электродинамический LDS 984 или V8-440T - 1 шт.;

3.2. Метрологическое обеспечение

3.2.1. Для выполнения испытаний по настоящей программе необходимы следующие средства измерений:

1. часы с секундомером 60-ЧП - 1 шт.;
2. барометр МД-49-2 - 1 шт.;
3. психрометр МВ-4М - 1 шт.;
4. весы РП-500Ш13М - 1 шт.

Примечание. Допускается применение аналогичных средств измерения или на класс выше.

3.2.2. Все применяемые средства измерения должны пройти метрологический контроль в соответствии с нормативной документацией государственной системы обеспечения единства измерений.

3.2.3. Испытательное оборудование должно быть аттестовано согласно ГОСТ Р 8.568-97.

4. Виды, последовательность и объем испытаний

Последовательность испытаний и соответствующие случаи нагружения приведены в Таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Последовательность испытаний и соответствующие случаи нагружения

№ Испытания	Виды и последовательность испытаний	Пункт программы испытаний	Максимальная нагрузка	Коэффициент безопасности	Случай нагружения, соответствующий данному виду испытаний
1	2	3	4	5	6
4.1	Контрольные проверки	6.6			
4.2	Частотные испытания	6.4.1 6.4.2	Таблица 6.3		
4.3	Испытания на случай «Транспортирование»	6.1 6.2	Таблица 6.1	1,5	Случай транспортирования
4.4	Испытания на центрифуге на линейные эксплуатационные и расчетные ускорения	6.3	Таблица 6.2	1,3	Случай действия максимальных линейных ускорений
4.5	Виброиспытания на случай полета	6.4 6.5	Таблица 6.4 Таблица 6.5 Таблица 6.6 Таблица 6.7 Таблица 6.8	1,5 – гарм. вибрации, 2,0 – случ. вибрации, 1,5 – ударные нагрузки	Воздействие вибрационных и ударных нагрузок на изделие при эксплуатации
4.6	Частотные испытания	6.4.1 6.4.2	Таблица 6.3		
4.7	Контрольные проверки	6.6			

5. Условия проведения испытаний на прочность

5.1. Общие требования к проведению испытаний

Испытания проводятся в нормальных климатических условиях:

- атмосферное давление от 86 до 106 кПа (от 630 до 800 мм рт. ст.);
- относительная влажность от 45 до 75%;
- температура воздуха от плюс 15 до плюс 35° С.

Для обеспечения близких к реальным условиям закрепления КА «Маяк» его вибродинамические испытания проводятся в транспортно-пусковом контейнере (ТПК).

В процессе испытаний проводится:

- регистрация этапов нагружения и соответствующих им нагрузок;
- видеофиксация процесса испытаний;
- запись показаний измерительных приборов на контролируемых этапах;
- анализ текущей информации;
- регистрация местных изменений объекта испытания (потеря устойчивости, износ, наклеп, разрушения).

Средства нагружения и измерения должны иметь техническую документацию в полном объеме.

6. Методика проведения испытаний

6.1. Общие требования к проведению испытаний на случай "Транспортирование"

6.1.1. Испытаниям подвергается КА «Маяк», размещенный в транспортном контейнере. Все раскрывающиеся элементы находятся в сложенном и зачекованном положении.

6.1.2. Режимы проведения испытаний задаются в соответствии с Таблицей 6.1 (ГОСТ РВ 20.57.305-98) и выдерживаются в плоскости стыка изделия с приспособлением.

Таблица 6.1 - Режимы проведения испытаний на случай «Транспортирование»

Пиковое ударное ускорение, g	Оси			Длительность действия ударного ускорения, мс	Общее число ударов
	$X_{КА}$	$Y_{КА}$	$Z_{КА}$		
	Количество ударов				
5	5000	5000	5000	от 2 до 10	15000

Примечание: Предпочтительная длительность ударного импульса 6 мс, частота повторения ударов в минуту - не более 120.

6.1.3. В процессе испытаний ведется регистрация показаний вибродатчиков, установленных на изделии в соответствии с перечнем приложения А. Показания всех вибродатчиков, полученные в начале, середине и конце испытаний, включить в отчет.

6.1.4. Допускаемые отклонения воспроизведения и поддержания заданных характеристик в ходе испытаний:

- по амплитуде виброускорений ± 20 %;
- по числу циклов ± 5 %.

6.2. Испытания на случай "Транспортирование"

6.2.1. КА «Маяк», размещенный в транспортном контейнере, установить на приспособление для крепления к вибростенду. Все раскрывающиеся элементы находятся в сложенном и зачекованном положении.

6.2.2. Приспособление с установленной на нем сборкой КА «Маяк»–транспортный контейнер пристыковать к вибростенду для проведения испытаний в направлении оси Y в соответствии с Рисунком 6.1.

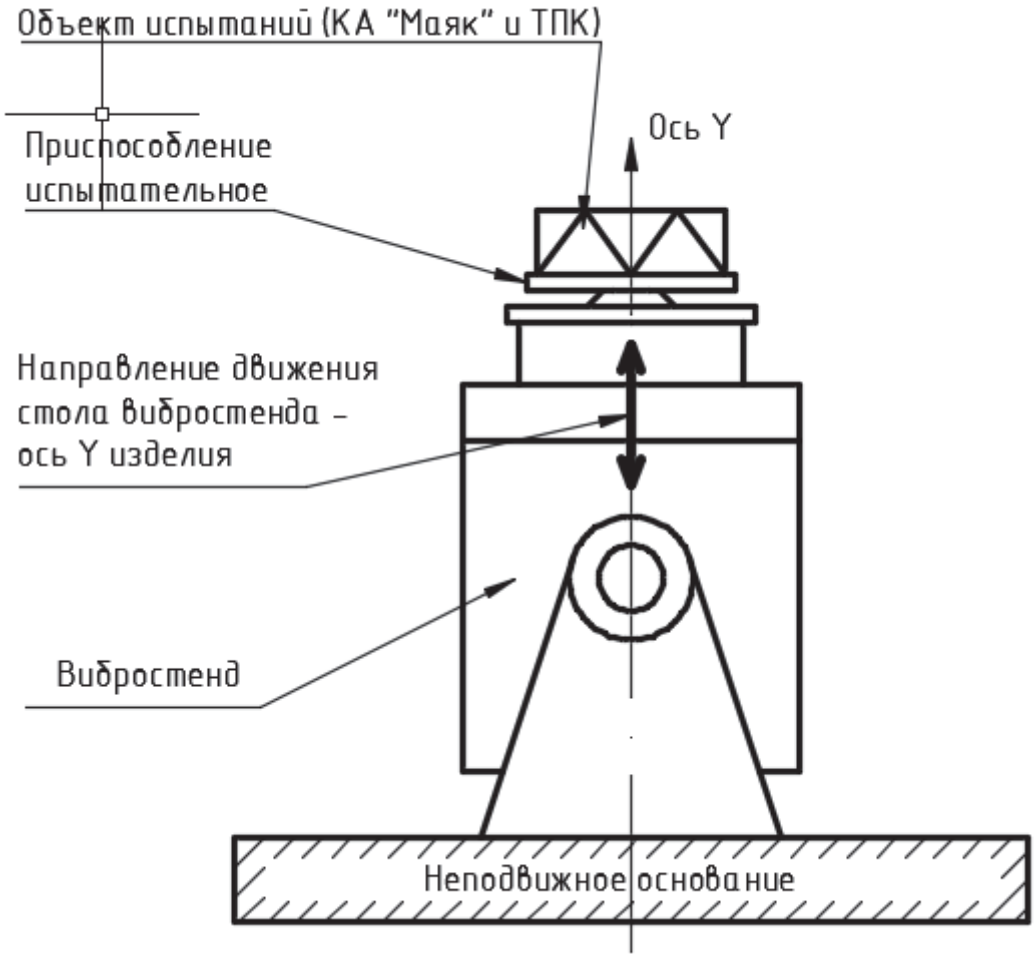


Рисунок 6.1 - Схема установки сборки КА «Маяк» – транспортный контейнер на вибростенд для проведения испытаний в направлении оси Y

6.2.3. Провести испытания в направлении оси Y в соответствии с п.6.1.2.

6.2.4. Приспособление с установленной на нем сборкой пристыковать к вибростенду для проведения испытаний в направлении оси X в соответствии с Рисунком 6.2.

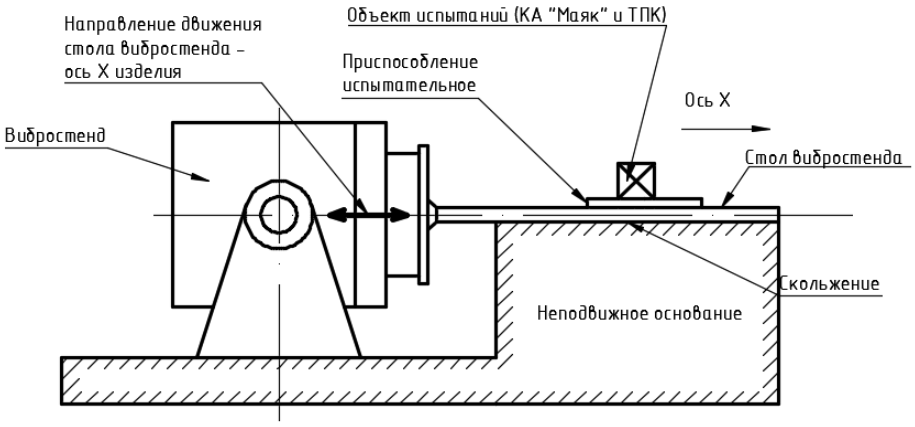


Рисунок 6.2 - Схема установки сборки КА «Маяк»– транспортный контейнер на вибростенд для проведения испытаний в направлении оси X

6.2.5. Провести испытания в направлении оси X в соответствии с п.6.1.2.

6.2.6. Приспособление с установленной на нем сборкой пристыковать к вибростенду для проведения испытаний в направлении оси Z в соответствии с Рисунком 6.3.

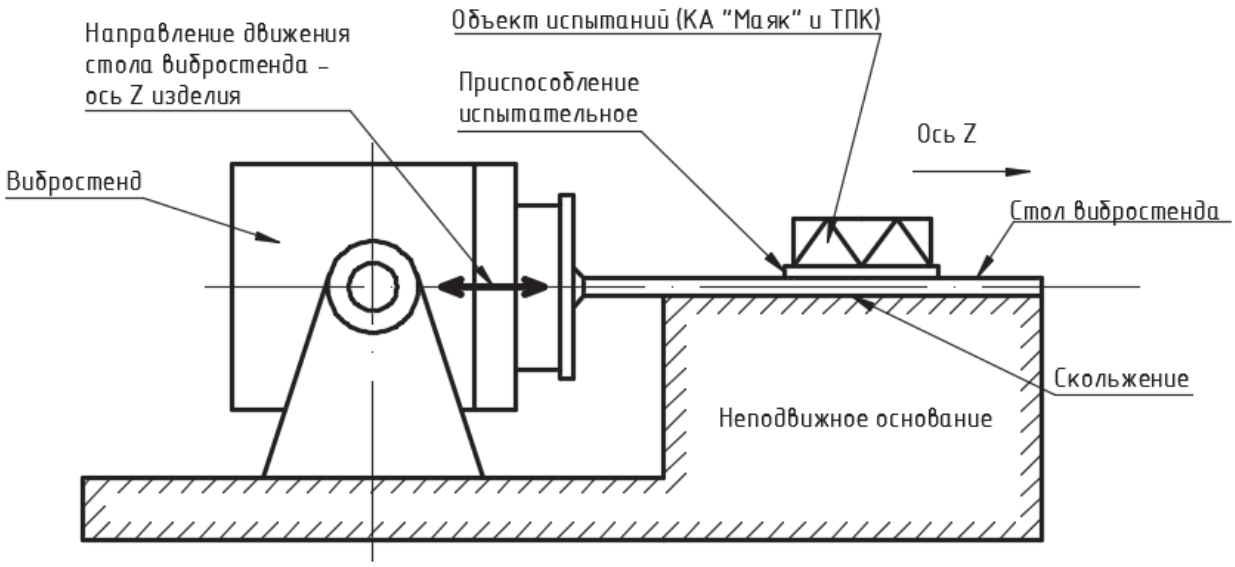


Рисунок 6.3 - Схема установки сборки КА «Маяк» – транспортный контейнер на вибростенд для проведения испытаний в направлении оси Z

6.2.7. Провести испытания в направлении оси Z в соответствии с п.6.1.2.

6.2.8. После каждого испытания по осям X,Y,Z проводить внешний осмотр сборки на отсутствие механических повреждений и ослабления креплений.

6.3. Испытания на центрифуге на случай максимальных линейных ускорений

6.3.1. Испытаниям подвергается КА «Маяк», размещенный внутри ТПК. Все раскрывающиеся элементы находятся в сложенном и зачекованном положении.

6.3.2. При испытаниях проверяется прочность основных силовых элементов изделия и его стыков при действии эксплуатационных и расчетных нагрузок.

6.3.3. Сборка для испытаний в направлении осей X,Y и Z с помощью приспособления для крепления к центрифуге устанавливается в соответствии с Рисунком 6.4, 6.5 и 6.6

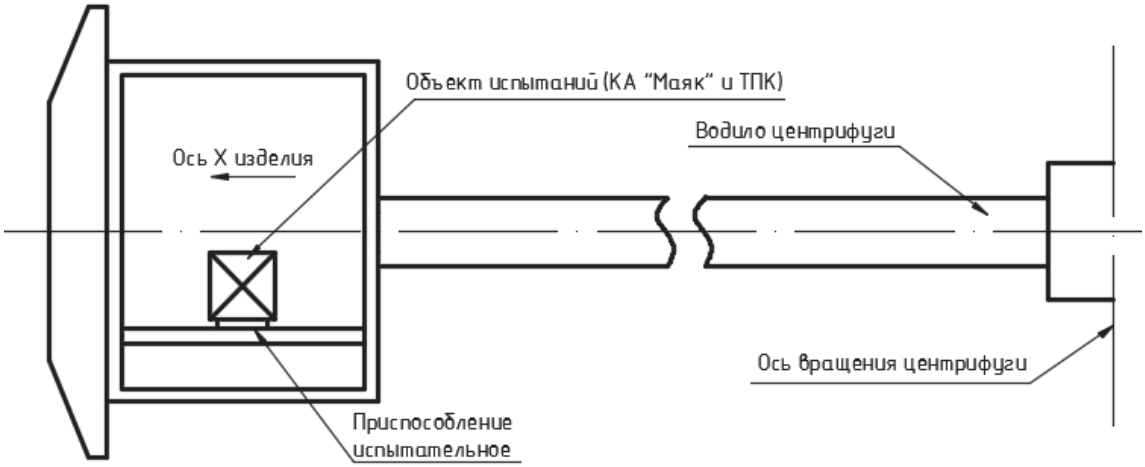


Рисунок 6.4 - Схема установки сборки КА «Маяк» – ТПК на центрифугу для проведения испытаний в направлении оси X

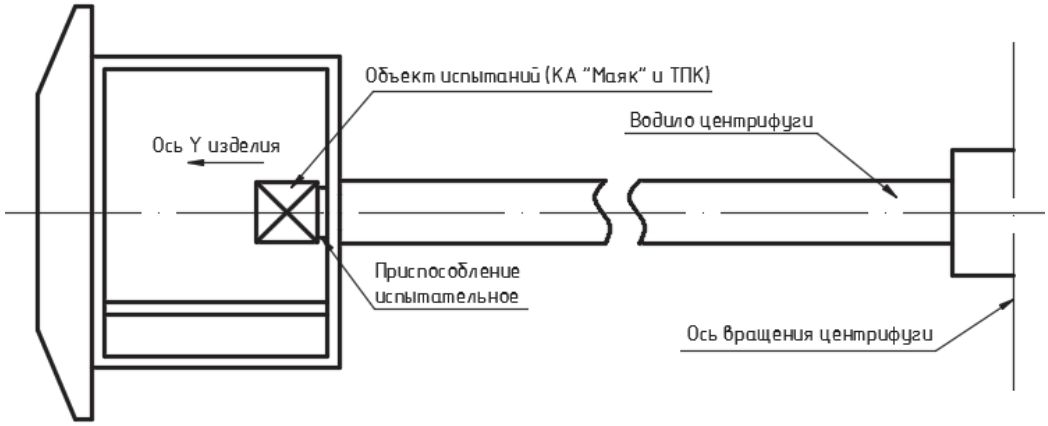


Рисунок 6.5 - Схема установки сборки КА «Маяк» – ТПК на центрифугу для проведения испытаний в направлении оси Y

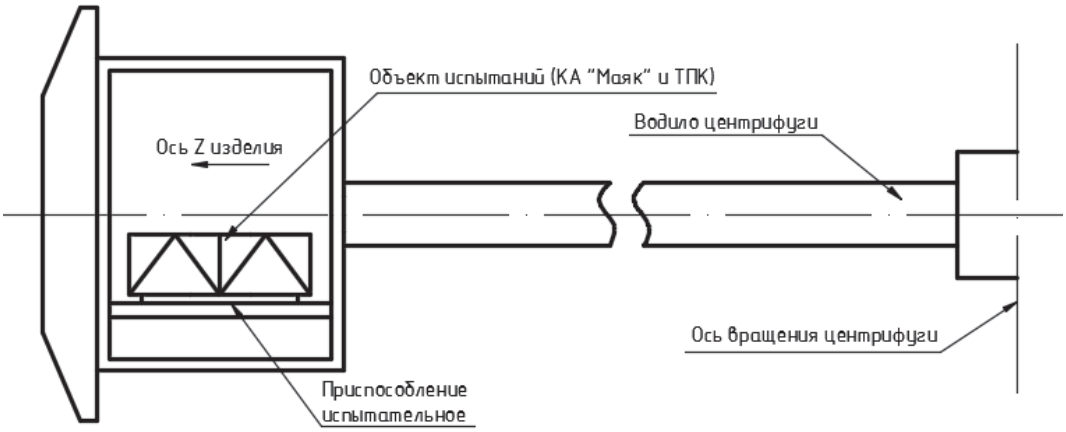


Рисунок 6.6 - Схема установки сборки КА «Маяк» – ТПК на центрифугу для проведения испытаний в направлении оси Z

6.3.4. Создать по центру масс испытуемой сборки линейные ускорения в соответствии с Таблицей 6.2.

Таблица 6.2 - Параметры ускорений при проверке прочности конструкции КА «Маяк» при воздействии квазистатических нагрузок

Направление действия	Ускорение, $м/с^2$ (g)
Продольное (вдоль полетной оси Y)	98,1 (10)
Поперечное (оси X,Z)	49,05 (5)

Примечания:

1. Время воздействия по каждой оси 10 мин,
2. Квазистатические ускорения при наземной эксплуатации КА на этапе предстартовой подготовки не превышают значения приведенных для этапа выведения РН.
3. Ускорение при испытаниях на центрифуге определяется по числу оборотов вала центрифуги.
4. При испытаниях на центрифуге допустимое отклонение величины ускорения от заданной не более - 10 % + 30%.

6.4. Общие требования к виброиспытаниям и испытаниям на ударные воздействия

6.4.1. Перед и после испытаний на квалификационном уровне проводятся частотные испытания в диапазоне от 5 до 2000 Гц синусоидальной вибрацией малого уровня, целью которых является выявление резонансных частот, а также уточнение режимов испытаний на вибропрочность.

6.4.2. При частотных испытаниях изделия режимы задаются по Таблице 6.3.

Таблица 6.3 - Режимы проведения частотных испытаний

Диапазоны частот, Гц	Амплитуды виброускорений, g
5 -10	0,3
10 – 20	0,3
20 – 40	0,3
40 – 80	0,5
80 – 160	1,0
160 – 320	1,0

320 - 640	1,0
640 – 1280	1,0
1280 - 2000	1,0

Примечания:

1. Время испытаний в каждом октавном диапазоне 60 с, скорость прохождения - не более 1 окт/мин.
2. Режимы задаются по стыку испытуемой сборки с приспособлением по максимуму амплитуды основной гармонической составляющей (стратегия управления "Harmonic", max).
3. Показания вибродатчиков регистрировать непрерывно. В отчет поместить записи показаний вибродатчиков до и после испытаний на вибропрочность на одном графике.

6.4.3. В диапазоне частот от 5 до 20 Гц вибропрочностные испытания проводятся на синусоидальную вибрацию на режимах Таблицы 6.4.

Таблица 6.4 - Режимы проведения вибропрочностных испытаний на гармоническую вибрацию в диапазоне частот от 5 Гц до 20 Гц

Этап эксплуатации	Время действия, сек	Поддиапазоны частот, Гц			
		1 – 2	2 – 5	5 – 10	10 – 20
		Амплитуда виброускорения, g, (g = 9,81 м/с^2)			
Работа ступ. РН	600	0,3-0,5	0,5	0,5-1,0	1,0
Работа ДУ РБФ	875	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5

Примечания:

1. Если собственные частоты КА «Маяк» выше 40 Гц и проведена квалификация на квазистатические нагрузки, то испытания гармонической вибрацией в диапазоне до 20 Гц допускается не проводить.

2. В процессе виброиспытаний допускается проводить ограничения входного воздействия на резонансных частотах.

3. Изменение амплитуд виброускорений в пределах каждого поддиапазона частот – линейное.

4. Допускается проведение испытаний с постоянной амплитудой ускорения в любом поддиапазоне частот в пределах каждого октавного диапазона, равной среднеарифметическому из значений на границах поддиапазона.

5. Режимы задаются по стыку испытуемой сборки с приспособлением по максимуму показаний задающих датчиков (стратегия управления "RMS" или "Harmonic", max).

6.4.4. В диапазоне частот от 20 до 2000 Гц вибропрочностные испытания проводятся на случайную вибрацию на режимах Таблицы 6.5.

Режим испытаний на случайную вибрацию задается по максимуму спектральных характеристик (PSD, g^2/Гц) показаний датчиков, установленных на приспособлении у узлов крепления объекта испытаний и в контрольных точках, выбранных по результатам частотных испытаний по Таблице 6.3 и испытаний на уровнях – 20 дБ, –12 дБ и –6 дБ от режимов случайной вибрации Таблицы 6.5.

Допускаемое отклонение воспроизведения и поддержания заданных спектральных характеристик в ходе испытаний:

- по уровню спектральной плотности виброускорений ± 3 дБ;
- по амплитуде виброускорения ± 20 %;
- по времени ± 10 %;
- по частоте вибрации ± 0,5 Гц на частотах ниже 25 Гц и ± 2 % на частоте 25 Гц и выше;
- по суммарному среднеквадратичному ускорению случайной вибрации ± 2 дБ.

Таблица 6.5 - Режимы проведения вибропрочностных испытаний на случайную вибрацию в диапазоне частот от 20 Гц до 2000 Гц

Этап эксплуатации	Время воздействия режима, с	Поддиапазоны частот, Гц					
		20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000
		Спектральная плотность виброускорения, g^2/Гц					
Работа ступеней РН	120	0,02	0,02	0,02-0,05	0,05	0,05-0,025	0,025-0,013
	480	0,02	0,02	0,02	0,02-0,008	0,008-0,004	0,004-0,002
Работа ДУ РБФ	875	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004-0,002

Примечания:

1. Изменение значений спектральной плотности от частоты - линейное (при логарифмическом масштабе частоты и спектральной плотности).
2. Испытания на прочность допускается проводить на уровнях работы ступеней РН.
3. Допускается замена испытаний при воздействии случайной вибрации на режимах Таблицы 6.5 испытаниями при воздействии гармонической вибрации на режимах Таблицы 6.6 при плавном изменении частоты в прямом (от нижней частоты до верхней) и в обратном направлениях со скоростью не более 0,5 окт/мин на частотах до 100 Гц и 1 окт/мин на частотах выше 100 Гц.
4. Запись показаний вибродатчиков, установленных на изделии согласно перечню приложения А, при испытаниях по п. 6.5 вести непрерывно. Кроме того, вести запись показаний задающих вибродатчиков в процессе выхода на режим и окончания режима.
5. Допускается вибрационные испытания изделия начинать с любой оси.
6. Величины виброускорений заданы в единицах g, где g = 9,81 м/с2 - ускорение свободного падения.

Таблица 6.6. Режимы проведения вибропрочностных испытаний на гармоническую вибрацию в диапазоне частот от 5 Гц до 2000 Гц

Диапазоны частот, Гц	Амплитуды виброускорений, g
от 5 до 10	0,5 - 1,0
от 10 до 20	1,0
от 20 до 40	1,0 - 1,5
от 40 до 80	1,5 - 2,0
от 80 до 160	2,0 - 4,0
от 160 до 320	4,0 - 8,0
от 320 до 640	8,0 - 10,0
от 640 до 1280	10
от 1280 до 2000	10

Примечания:

1. Изменение амплитуд виброускорений в пределах каждого поддиапазона частот – линейное.
2. Допускается проведение испытаний с постоянной амплитудой ускорения в любом поддиапазоне частот в пределах каждого октавного диапазона, равной среднеарифметическому из значений на границах поддиапазона.

Режим испытаний на гармоническую вибрацию выше 20 Гц задается по максимуму показаний датчиков, установленных на приспособлении у узлов крепления объекта испытаний и в контрольных точках, выбранных по результатам частотных испытаний по таблице 6.3 (стратегия управления "RMS" или "Harmonic", max).

6.4.5. Испытания на ударное воздействие от систем разделения РН проводятся на режимах Таблицы 6.7.

Таблица 6.7 – Параметры нагрузок при проверке прочности конструкции КА «Маяк» - ТПК при воздействии ударных нагрузок от систем разделения РН

Частота, f, Гц	100-200	200-500	500-1000	1000-2000	2000-5000
Ускорение, A_s, g	15-40	40-175	175-500	500	500-1000

Примечания:

1. Количество воздействий: 5.
2. Ударные нагрузки в Таблице 6.6 заданы по каждой из трех взаимно перпендикулярных осей в виде спектров ударных ускорений при добротности Q =10.
3. Изменение ускорения в пределах каждого частотного поддиапазона - линейное при логарифмическом масштабе по частоте и амплитуде ускорения.
4. Допускается заменить воздействие в соответствии с режимами Таблицы 6.7. на ударные импульсы длительностью 0,5 – 2 мс и амплитудой 40 g.

6.4.6. Испытания на ударное воздействие от системы отделения КА «Маяк» проводятся на режимах Таблицы 6.8.

Таблица 6.8 – Параметры нагрузок при проверке прочности конструкции КА «Маяк» - ТПК при воздействии ударных нагрузок от системы отделения КА «Маяк»

Частота, f, Гц	100-200	200-500	500-1000	1000-2000	2000-5000
Ускорение, As, g	100-200	200-500	500-1000	1000-3000	3000-10000

Примечания:

1. Количество воздействий: 1.
2. Ударные нагрузки в Таблице 6.7 заданы по каждой из трех взаимно перпендикулярных осей в виде спектров ударных ускорений при добротности Q =10.
3. Изменение ускорения в пределах каждого частотного поддиапазона - линейное при логарифмическом масштабе по частоте и амплитуде ускорения.
4. Допускается заменить воздействие в соответствии с режимами Таблицы 6.7. на ударные импульсы длительностью 0,5 – 2 мс и амплитудой 150 g.

6.5. Виброиспытания на случай полета

6.5.1. Испытаниям подвергается КА «Маяк», размещенный в ТК. Все раскрывающиеся элементы находятся в сложенном и зачекованном положении.

6.5.2. Изделие закрепить на приспособлении для крепления к вибростенду.

6.5.3. Приспособление с установленным на нем изделием пристыковать к вибростенду для проведения испытаний в направлении оси X в соответствии с Рисунком 6.2.

6.5.4. Провести вибрационные испытания в направлении оси X в соответствии с п. 6.4.

6.5.5. Провести испытания на ударные воздействия от систем разделения РН в направлении оси X в соответствии с п. 6.4.

6.5.6. Провести испытания на ударные воздействия от системы отделения КА «Маяк» в направлении оси X в соответствии с п. 6.4.

6.5.7. Приспособление с установленным на нем изделием пристыковать к вибростенду для проведения испытаний в направлении оси Y в соответствии с Рисунком 6.1.

6.5.8. Провести вибрационные испытания в направлении оси Y в соответствии с п. 6.4.

6.5.9. Провести испытания на ударные воздействия от систем разделения РН в направлении оси Y в соответствии с п. 6.4.

6.5.10. Провести испытания на ударные воздействия от системы отделения КА «Маяк» в направлении оси Y в соответствии с п. 6.4.

6.5.11. Приспособление с установленным на нем изделием пристыковать к вибростенду для проведения испытаний в направлении оси Z в соответствии с Рисунком 6.3.

6.5.12. Провести вибрационные испытания в направлении оси Z в соответствии с п. 6.4.

6.5.13. Провести испытания на ударные воздействия от систем разделения РН в направлении оси Z в соответствии с п. 6.4.

6.5.14. Провести испытания на ударные воздействия от системы отделения КА «Маяк» в направлении оси Z в соответствии с п. 6.4.

6.5.15. После каждого испытания по осям X,Y,Z проводить внешний осмотр сборки на отсутствие механических повреждений и ослабление креплений.

6.6. Методика проведения контрольных проверок

6.6.1. Контрольные проверки проводятся в соответствии с пунктами п.4 документа МАЯК-КИЭМ-ПМ-1.Ver 2.

7. Оценка результатов испытаний

7.1. Изделие считать выдержавшим испытания при положительных результатах испытаний, отсутствии механических повреждений после воздействия испытательных нагрузок и отсутствии собственных частот в диапазоне до 40 Гц.

7.2. В случае разрушения при испытаниях какого-либо элемента проводится его доработка согласно решению, принятому представителями организации-разработчика КА «Маяк», и дополнительные испытания в составе изделия. Поломка других элементов конструкции при дополнительных испытаниях не является браковочным признаком.

7.3. Дополнительные испытания в составе изделия могут быть заменены соответствующими автономными испытаниями отдельных агрегатов по согласованию с представителем организации-разработчика КА «Маяк».

7.4. Недопустимыми считаются следующие неисправности и дефекты, выявленные в результате проверок после воздействия испытательных нагрузок:

– механические разрушения элементов конструкции изделия,

– неотработка штатной циклограммы КА «Маяк».

8. Техника безопасности

8.1. При проведении испытаний по данной программе, необходимо руководствоваться указаниями по технике безопасности, изложенными в инструкциях и положениях, действующих в испытательном подразделении.

8.2. Объем требований по технике безопасности определяется содержанием работ по конкретному виду испытаний.

8.3. Особое внимание обратить на выполнение требований по технике безопасности при работах:

– с движущимися элементами;

– с подъемным оборудованием.

8.4. Ответственным за соблюдением правил техники безопасности на каждом этапе является начальник подразделения, проводящего испытания.

9. Отчетность

9.1. Результаты испытаний по каждому пункту оформляются протоколом испытаний.

9.2. По результатам испытаний на прочность выпускается отчет не позднее, чем через один месяца после окончания испытаний.

9.3. К отчету прилагаются результаты измерений и анализ дефектов, полученных в результате проведенных испытаний.

9.4. Отчет выпускаются в соответствии с требованиями ГОСТ В 22619-90.

Приложение А. Перечень вибродатчиков, устанавливаемых на КА «Маяк»

Места установки вибродатчиков приведены в Таблице ПА1. Вибродатчики Д1-Д4 из Таблицы ПА1 устанавливаются на испытательное приспособление у узла стыка с ТПК КА «Маяк», датчики Д5-Д21 устанавливаются на внешнюю поверхность ТПК.

Таблица ПА1. Места установки вибродатчиков

Место установки датчика. Тип датчика	Маркировка	Ось	Примечание
1	2	3	4
Приспособление у узла стыка с ТПК КА «Маяк». Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д1	Ось возбуждения	Устанавливается исполнителем испытаний
Приспособление у узла ТПК КА КА «Маяк». Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д2	Ось возбуждения	Устанавливается исполнителем испытаний
Приспособление у узла ТПК КА КА «Маяк». Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д3	Ось возбуждения	Устанавливается исполнителем испытаний
Приспособление у узла ТПК КА КА «Маяк». Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д4	Ось возбуждения	Устанавливается исполнителем испытаний
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д5	+Y	Рисунок ПА1
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д6	+Y	Рисунок ПА1
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д7	+Y	Рисунок ПА1
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д8	+Y	Рисунок ПА1
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д9	-X	Рисунок ПА1

ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д10	-X	Рисунок ПА1
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д11	-X	Рисунок ПА1
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д12	-X	Рисунок ПА1
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д13	+X	Рисунок ПА2
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д14	+X	Рисунок ПА2
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д15	+X	Рисунок ПА2
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д16	+X	Рисунок ПА2
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д17	-Y	Рисунок ПА3
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д18	-Y	Рисунок ПА3
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д19	-Y	Рисунок ПА3
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д20	-Y	Рисунок ПА3
ТПК КА «Маяк», Трехосевой Brüel&Kjær 4504A.	Д21	+Z	Рисунок ПА3

Примечания:

1. Для измерений при испытаниях № 4.2, 4.3, 4.4 и 4.4 из Таблицы 4.1 используются акселерометры трехосевые Brüel&Kjær 4504A и одноосевые Brüel&Kjær 4519 или Brüel&Kjær 4513 или KD91 или любого другого типа с аналогичными характеристиками.

2. В процессе испытаний места устанавливаемых датчиков могут уточняться по согласованию с руководителем испытаний и представителями отдела прочности.

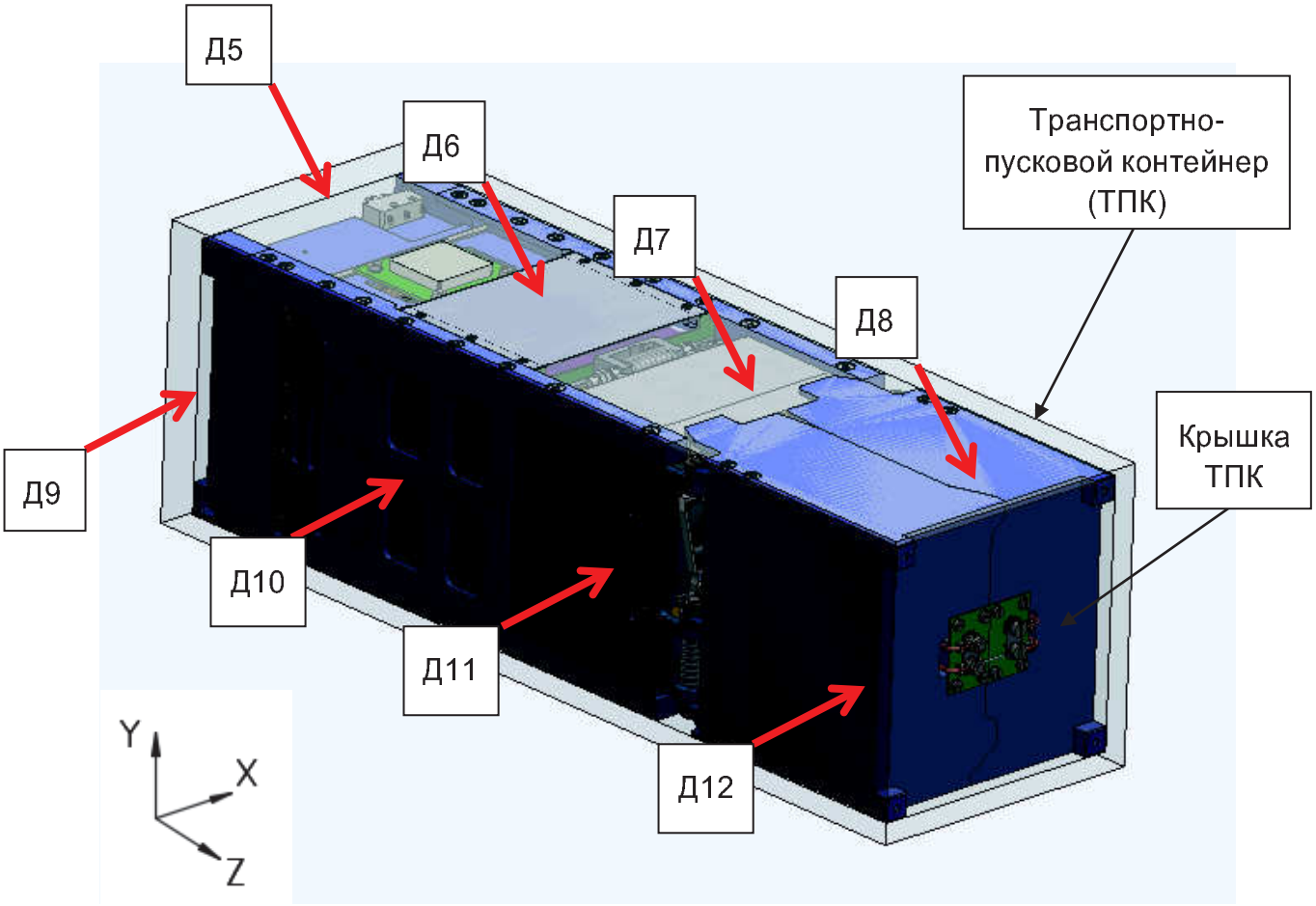


Рисунок ПА1. Места установки датчиков Д5-Д12

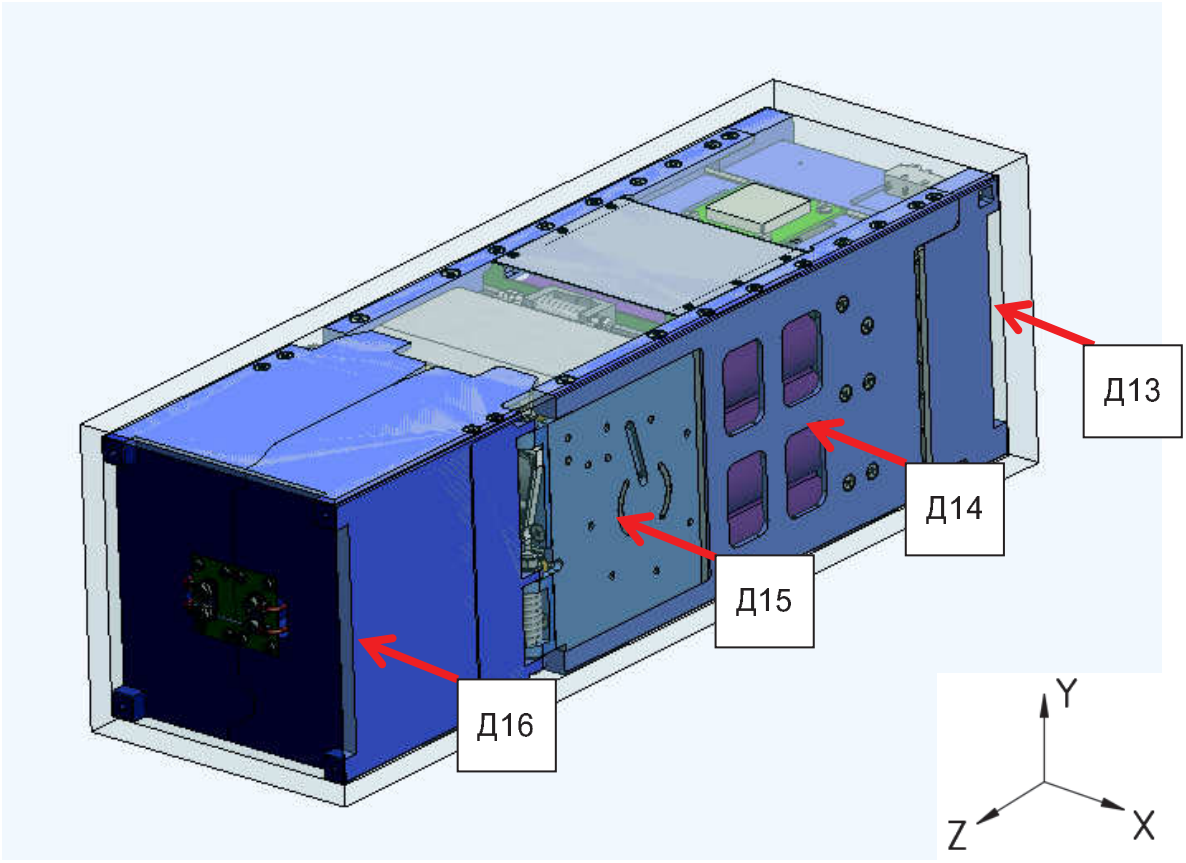


Рисунок ПА2. Места установки датчиков Д13-Д16

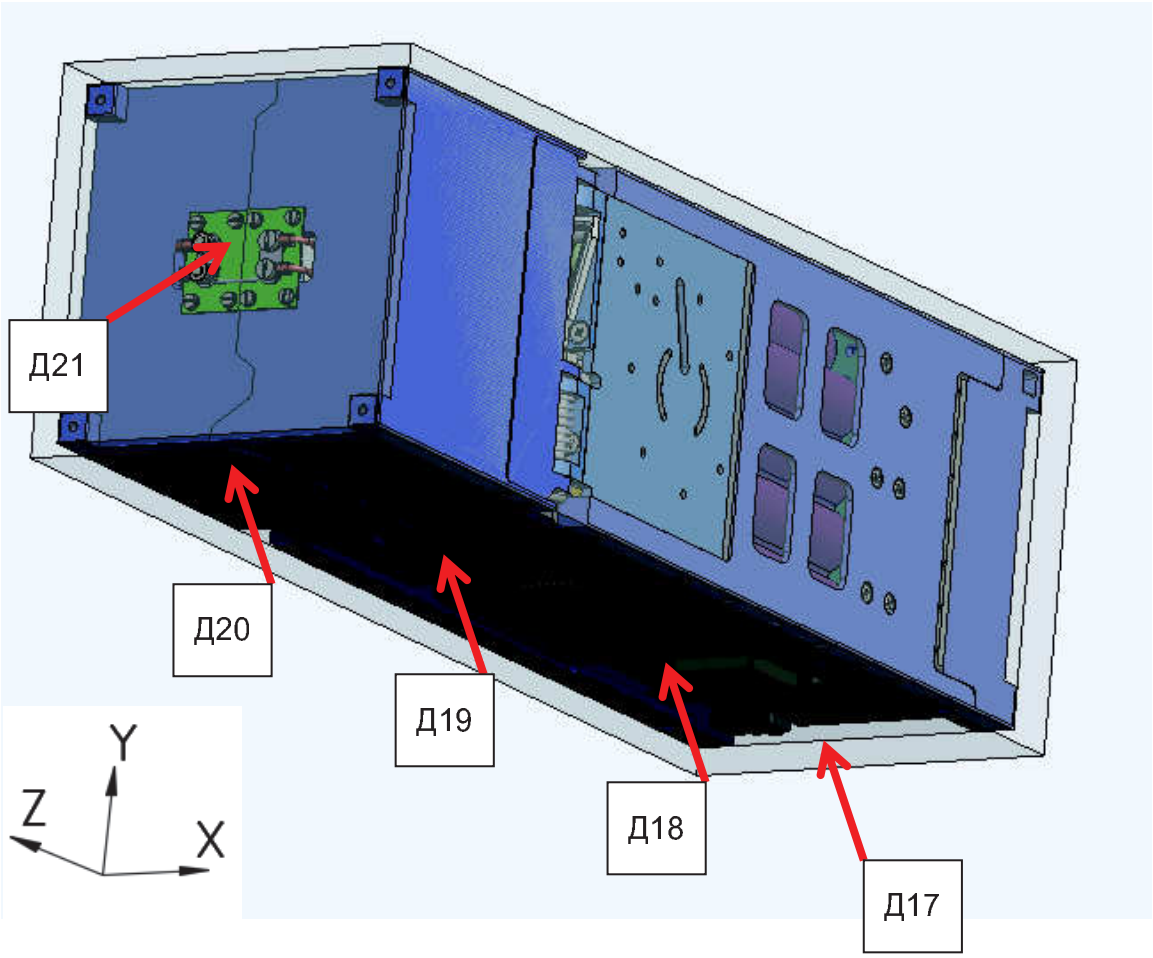
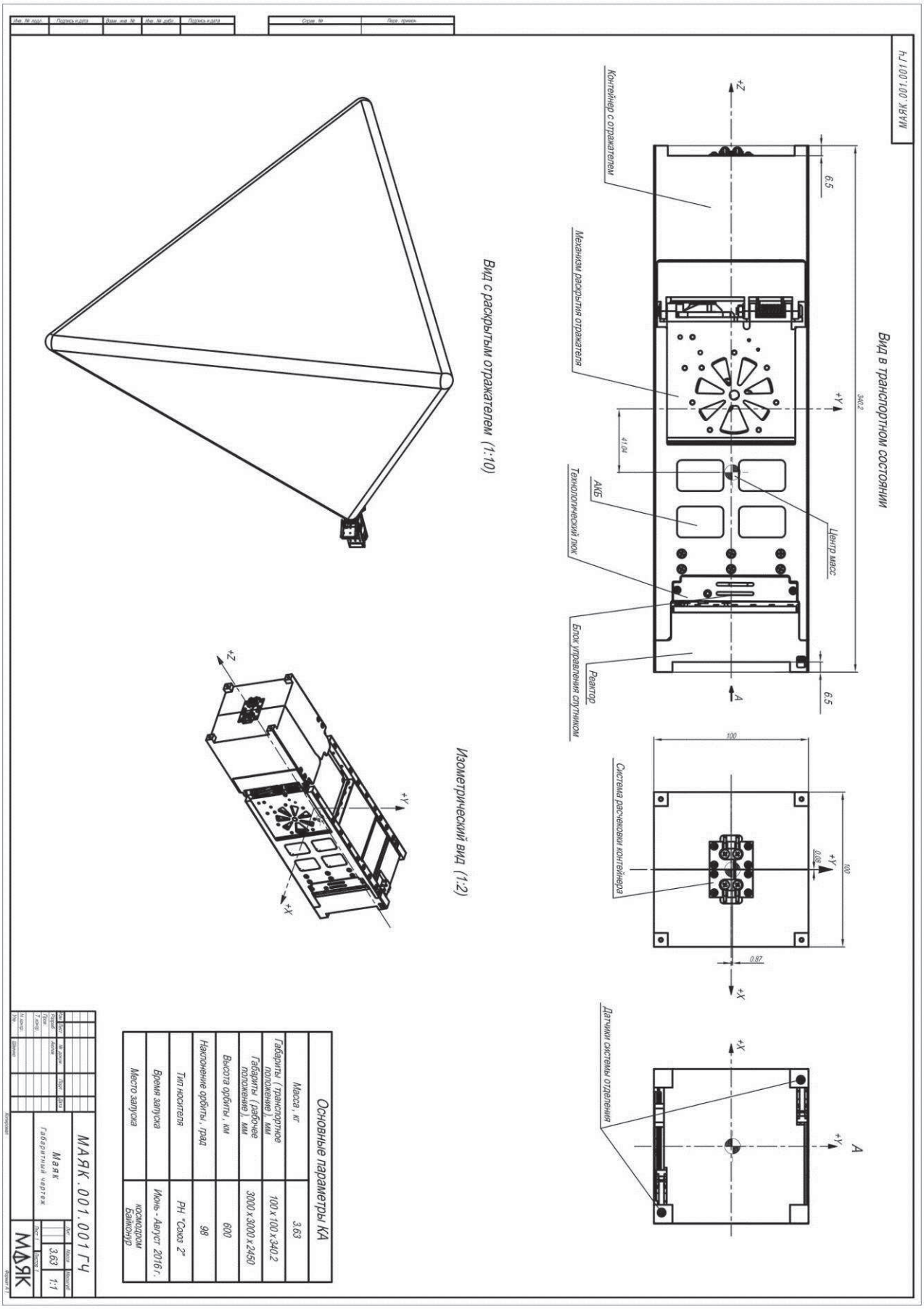


Рисунок ПА3. Места установки датчиков Д17-Д21

Приложение Б. Габаритный чертеж КА «Маяк»



Приложение В. Перечень ссылочных документов

Обозначение	Наименование	Пункт программы
ГОСТ В 22619-90		Реферат, 3.1.5, 9.4
ГОСТ Р8.568-97	Аттестации испытательного оборудования. Основные положения.	3.2.3
ГОСТРВ 20.57.305-98		6.1.2

УТВЕРЖДАЮ
Ректор Московского Политеха
_____ А.В. Николаенко
« 20 » _____10_____ 2016 г.

ОТЧЕТ О ПРОВЕДЕНИИ ВИБРОДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «МАЯК»

1. Объект испытаний:
Летный образец космического аппарата (КА) «Маяк», размещенный в испытательной оснастке, рисунок 1.

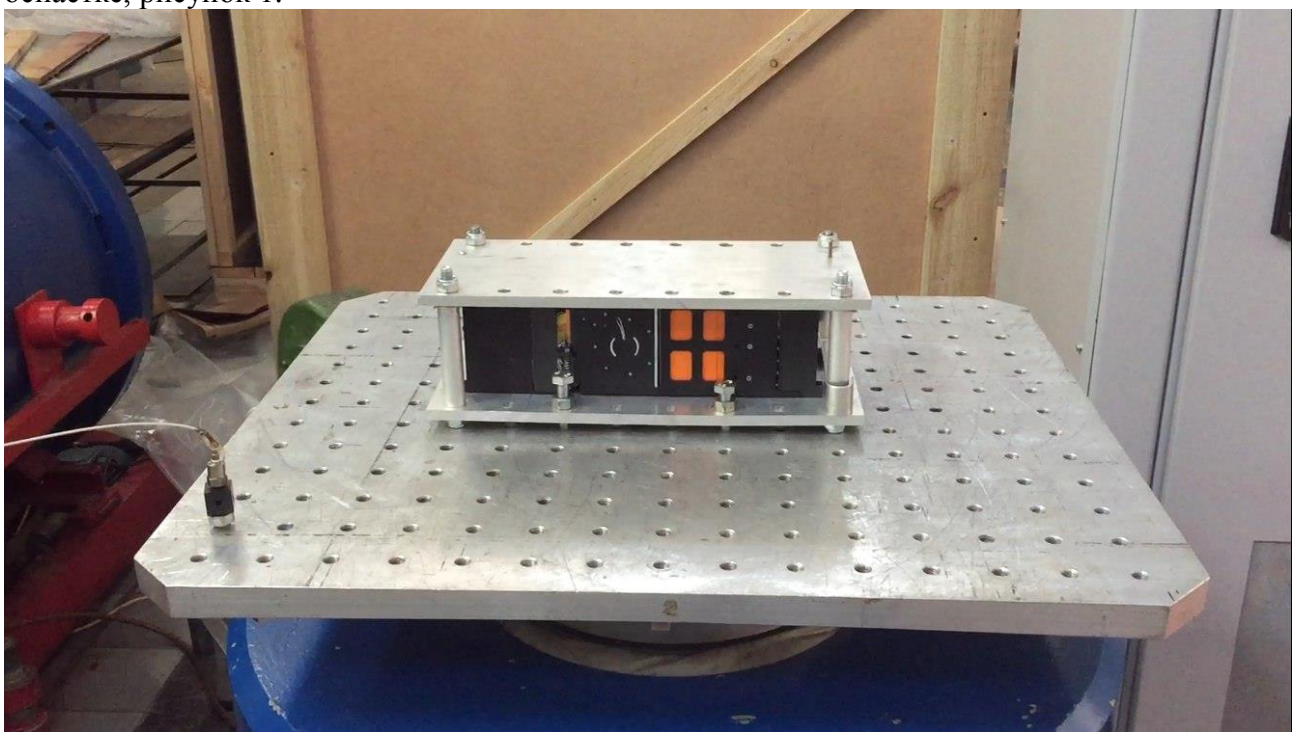


Рисунок 1. Космический аппарат (КА) «Маяк», размещенный в испытательной оснастке, во время проведения вибродинамических испытаний

2. Цель испытаний:
Отработка прочности изделия при воздействии динамических нагрузок в соответствии с принятыми расчетными случаями нагружения и проверка совместимости КА «Маяк» с транспортно-пусковым контейнером.

3. Программа испытаний:
Космический аппарат «Маяк». Программа и методика испытаний на статическую и вибродинамическую прочность МАЯК-ВДИ- ПМ-1 в соответствии с требованиями ГОСТ В 22619-90, Приложение 1.

4. Дата испытаний:
Испытания проведены с 09.09.16 г. по 13.09.16 г., 19.09.16 г.

5. Место испытаний:
Испытательный центр АО «НИИЭМ», Московская область, г. Истра, ул. Панфилова, 11, ОАО «Главкосмос», Москва, ул. Гиляровского, 39 стр. 3

6. Условия испытаний:
Температура окружающего воздуха: +25 ºС
Относительная влажность: 55 %
Атмосферное давление: 750 мм.рт.ст.

7. Испытательное оборудование и средства измерений:

Наименование	**Тип**	**Заводской номер**	**Сведения об аттестации (поверке)**
Анализатор спектра	ZET 017-U8	955	Свидетельство о поверке №АА 1136780 действителен до 11.02.2017 г.
Вибростенд	ВЭДС-1500	73	Протокол аттестации №08АЮ.2279 действителен до 29.12.2017 г.
Анализатор спектра	MIC 300M	30122	Свидетельство о поверке №АА 1317705 действителен до 19.06.2017 г.
Ударный стенд	TIRAshock 4110	22/88	Протокол аттестации №08АЮ.2036 действителен до 13.06.2017 г.
Центрифуга	ИСЛУ-300	1	Протокол аттестации №08АЮ.2461.01 действителен до 06.07.2017 г

8. Методика испытаний:

Для обеспечения близких к реальным условиям закрепления КА «Маяк» его вибродинамические испытания проводились в испытательной оснастке, имитирующей транспортно-пусковой контейнер.

КА «Маяк» в оснастке был установлен на приспособление для крепления к вибростенду. Все раскрывающиеся элементы находились в сложенном и зачекованном положении.

8.1 Испытания на многократные удары на случай транспортирования. КА «Маяк» был закреплён на вибростенде и подвергался вибрации согласно методике испытаний.

Значения параметров испытательного процесса указаны в Таблице 1

Таблица 1

Пиковое ударное ускорение, g	Оси			Длительность действия ударного ускорения, мс	Общее число ударов
	$X_{КА}$	$Y_{КА}$	$Z_{КА}$		
	Количество ударов				
5	5000	5000	5000	6	15000

8.2 Испытания на центрифуге на случай максимальных линейных ускорений.

КА «Маяк» был закреплён на центрифуге и подвергался воздействию квазистатических ускорений согласно методике испытаний.

Значения параметров испытательного процесса указаны в Таблице 2.

Таблица 2

Направление действия	Ускорение, м/с^2 (g)	Длительность воздействия, мин
Продольное (вдоль полетной оси Y)	98,1 (10)	10
Поперечное (оси X,Z)	49,05 (5)	10

8.3 Испытание на обнаружение резонансных частот конструкции. КА «Маяк» был закреплён на вибростенде и подвергался вибрации согласно методике испытаний.

Значения параметров испытательного процесса указаны в Таблице 3

Таблица 3

Диапазоны частот, Гц	Амплитуды виброускорений, g	Скорость прохождения диапазона, окт/мин
5 -10	0,3	1
10 – 20	0,3	
20 – 40	0,3	
40 – 80	0,5	
80 – 160	1,0	
160 – 320	1,0	
320 - 640	1,0	
640 – 1280	1,0	
1280 - 2000	1,0	

Изменение амплитуд виброускорений в пределах каждого поддиапазона частот – линейное.

8.4 Испытаний на воздействие случайной вибрации. КА «Маяк» был закреплён на вибростенде и подвергался вибрации в трёх взаимно перпендикулярных направлениях согласно методике испытаний.
Значения параметров испытательного процесса указаны в Таблице 4.
Таблица 4

Этап эксплуатации	Время воздействия режима, с	Поддиапазоны частот, Гц					
		20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000
		Спектральная плотность виброускорения, g^2/Гц					
Работа ступеней РН	120	0,02	0,02	0,02-0,05	0,05	0,05-0,025	0,025-0,013
	480	0,02	0,02	0,02	0,02-0,008	0,008-0,004	0,004-0,002
Работа ДУ РБФ	875	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004-0,002

Изменение значений спектральной плотности от частоты - линейное (при логарифмическом масштабе частоты и спектральной плотности).

8.5 Испытания при воздействии ударных нагрузок от систем разделения РН. КА «Маяк» был закреплён на ударном стенде и подвергался ударам в трёх взаимно перпендикулярных направлениях согласно методике испытаний.
Значения параметров испытательного процесса указаны в Таблице 4.
Таблица 4

Ускорение, g	Длительность ударного воздействия, мс	Число ударов в каждом направлении	Направление воздействия
40	2	5	В трёх взаимно перпендикулярных направлениях

8.6 Испытания при воздействии ударных нагрузок от системы отделения КА «Маяк». КА «Маяк» был закреплён на ударном стенде и подвергался ударам в трёх взаимно перпендикулярных направлениях согласно методике испытаний.
Значения параметров испытательного процесса указаны в Таблице 5.

Таблица 5

Ускорение, g	Длительность ударного воздействия, мс	Число ударов в каждом направлении	Направление воздействия
150	1	1	В трёх взаимно перпендикулярных направлениях

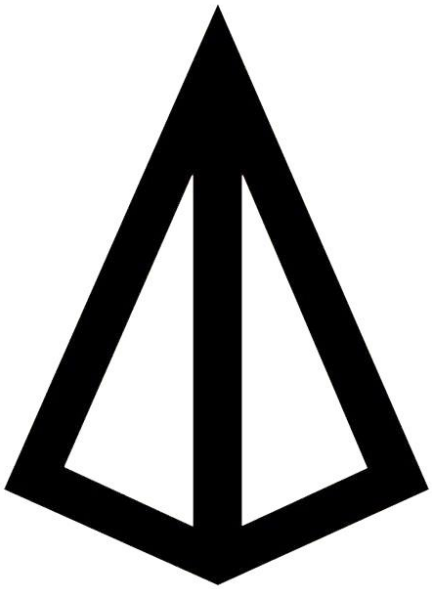
8.7 После испытаний на базе НИИЭМ, КА «Маяк» прошел примерку к инженерному образцу транспортно-пускового контейнера компании ECM. Примерка прошла успешно, летный образец аппарата и габаритной массовый макет свободно помещались внутри контейнера и свободно, без заеданий выталкивались из контейнера встроенной пружиной.

9. Результаты испытаний:

После проведения испытаний был проведен внешний осмотр КА «Маяк». Согласно «Протоколу испытаний №08АЮ.2527 на вибродинамическую прочность. Космический аппарат «Маяк», Приложение 2, повреждений и ослабления креплений, дефектов внешнего вида не обнаружено. Первая собственная частота колебаний КА «Маяк» составляет 230 Гц.

Кроме того, КА «Маяк» успешно прошел примерку к инженерному образцу транспортно-пускового контейнера компании ECM.

Руководитель проекта «Маяк» А.Ю. Шаенко



Космический аппарат «Маяк». Программа и методика испытаний на статическую и вибродинамическую прочность

Индекс документа	Версия	Дата
МАЯК-ВДИ- ПМ-1	Новый	22.04.2016

Разработчик:

Руководитель проекта «Маяк» _____ А.Ю. Шаенко

Содержание

Реферат 2
1. Объект испытаний, его состав и назначение 3
2. Цели и задачи испытаний 6
3. Организация испытаний 6
4. Виды, последовательность и объем испытаний 7
5. Условия проведения испытаний на прочность 9
6. Методика проведения испытаний 9
7. Оценка результатов испытаний 21
8. Техника безопасности 21
9. Отчетность 22
Приложение А. Перечень вибродатчиков, устанавливаемых на КА «Маяк». 23
Приложение Б. Габаритный чертеж КА «Маяк» 27
Приложение В. Перечень ссылочных документов 28

Реферат

Настоящая программа и методика определяет цели, задачи, виды, объем, порядок и условия проведения испытаний космического аппарата (КА) «Маяк» при транспортировании и выведении с помощью РН.

В процессе подготовки и проведения испытаний программа может быть уточнена и дополнена.

Программа составлена в соответствии с требованиями ГОСТ В 22619-90.

1. Объект испытаний, его состав и назначение

Объектом испытаний является космический аппарат (КА) «Маяк», размещенный в транспортно - пусковом контейнере (ТПК).

1.1. Конструкторско – силовая схема и инерционно – массовые характеристики

Космический аппарат «Маяк» представляет собой кубсат 3U, выполнен в соответствии с требованиями стандарта Cubesat Design Specifications [1].

В состав КА входят:

Солнечный отражатель,

- Светоотражающие поверхности,
- Контейнер отражателя,
- Механизм раскрытия,

Система управления,

- Плата полезной нагрузки (управление раскрытием отражателя),
- Плата бортового компьютера,

Система электропитания,

Реактор-двигатель,

Силовая конструкция.

Масса КА составляет 3,63 кг, габаритные размеры соответствуют стандарту Cubesat 3U (340,5 мм х 100 мм х 100 мм). Источниками энергии для работы бортовой аппаратуры являются химические источники тока.

КА «Маяк» предназначен для:

– испытаний аэродинамического тормозного устройства,

– уточнения модели взаимодействия космического аппарата, имеющего малое значение баллистического коэффициента, с верхними слоями атмосферы,

– отработки методики расчета видимой звездной величины малого космического аппарата.

Внешний вид КА «Маяк» в транспортном положении с указанием мест расположения бортовых систем приведен на Рисунке 1.1, габаритный чертеж и система координат КА «Маяк» – на Рисунке 1.2.

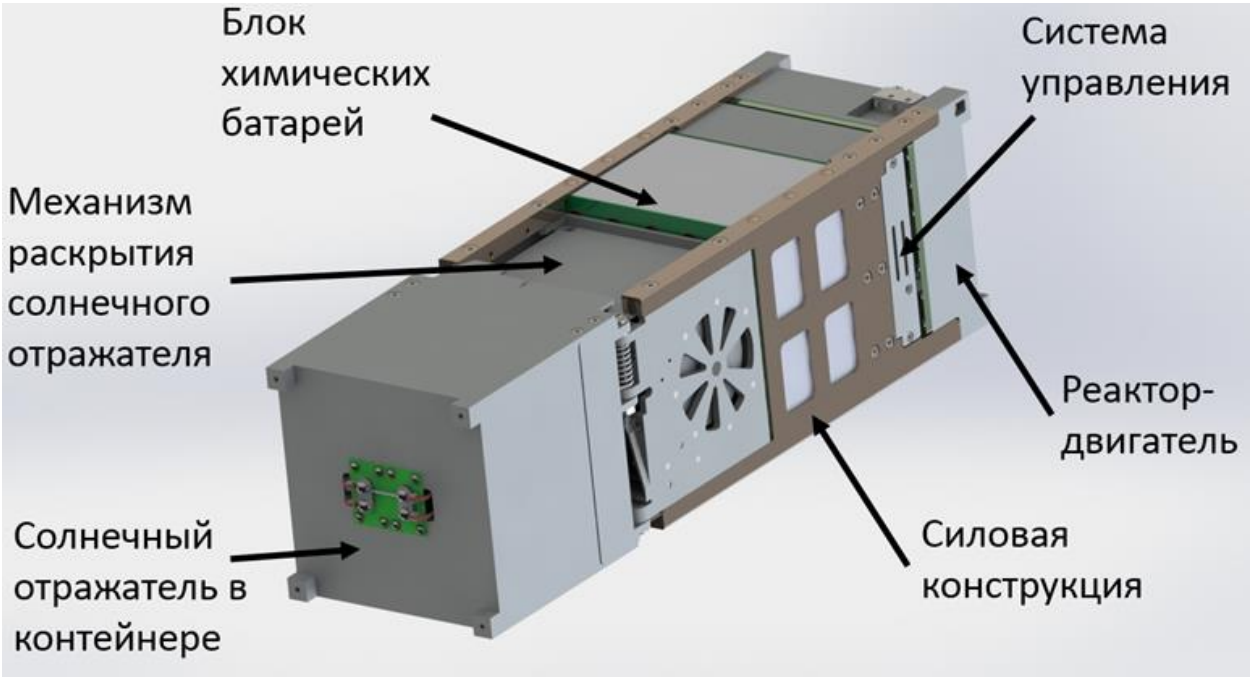


Рисунок 1.1 – Внешний вид КА «Маяк» в транспортном положении с указанием мест расположения бортовых систем

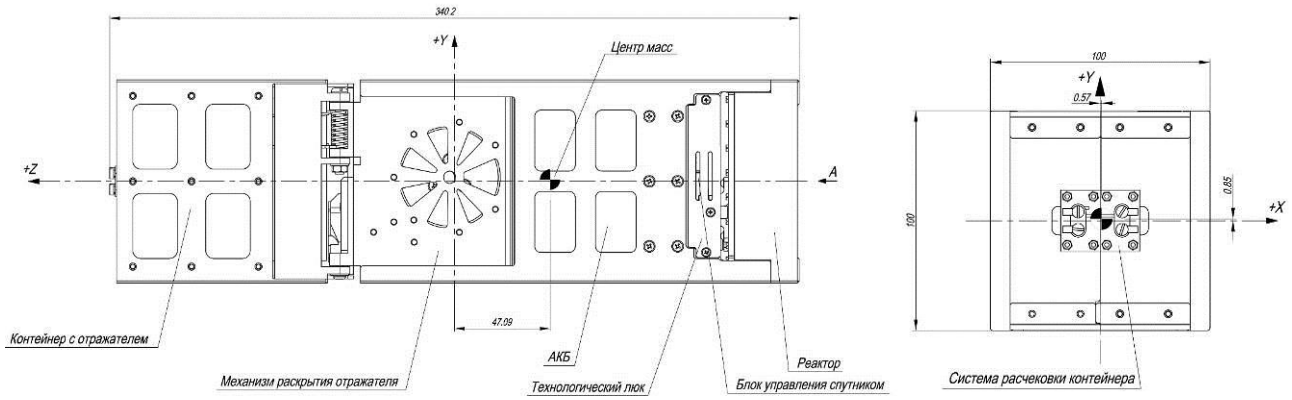


Рисунок 1.2 – Габаритный чертеж и система координат КА «Маяк»

Массовые характеристики КА «Маяк», вне пускового контейнера PSL-P, показаны в Таблице 1.1. Значения и размеры относятся к системе координат спутника.

Таблица 1.1 - Массовые характеристики КА «Маяк»

	Взвешенный	**Макс. или допуск**
Масса при запуске (кг)	3,63	±0,25
Положение центра масс по оси X (мм):	0,57	±0,06
Положение центра масс по оси Y (мм):	0,85	±0,09
Положение центра масс по оси Z (мм):	-47,09	±4,8
Момент инерции вокруг центра масс по оси XX: (кг·м^2):	0,04	±0,005
Момент инерции вокруг центра масс по оси YY: (кг·м^2):	0,03	±0,003
Момент инерции вокруг центра масс по оси ZZ: (кг·м^2):	0,01	±0,001

Перед испытаниями должно быть проведено взвешивание КА «Маяк» на весах с погрешностью не более ±0,25 кг и определено соответствующее ей положение центра масс в направлении осей X, Y, Z с погрешностью измеряемой величины – не более 0,01 м. Несоответствие масс при взвешивании приведенным выше теоретическим значениям не является браковочным признаком.

1.2. Комплектация объекта для испытаний и подготовительные работы

1.2.1. Испытывается летный образец КА «Маяк». КА состыковывается испытательным приспособлением по плоскости стыка через ТПК, при этом КА «Маяк» размещается в ТПК.

1.2.2. Приспособление для крепления КА «Маяк» к вибростенду и к центрифуге для испытания в трех взаимно-перпендикулярных направлениях разрабатывается и изготавливается разработчиком КА «Маяк» на основе габаритного чертежа КА «Маяк» и ТПК, приложение Б.

1.2.3. На ТПК, в котором размещается КА «Маяк» установить трехосевой акселерометр Brüel&Kjær 4504A в количестве 1 штуки и одноосевые акселерометры Brüel&Kjær 4519 или Brüel&Kjær 4513 или KD91 в количестве 16 штук в соответствии с Приложением А и Рисунками ПА1, ПА2 и ПА3. После установки акселерометров проложить к ним кабельную сеть.

1.2.4. Все работы при проведении испытаний изделия фиксировать в технологическом формуляре.

2. Цели и задачи испытаний

2.1. Цель испытаний

Целью проведения испытаний является отработка прочности изделия при воздействии статических и динамических нагрузок в соответствии с принятыми расчетными случаями нагружения.

2.2. Задачи испытаний

В ходе проведения испытаний решаются следующие задачи:

1. Экспериментальное подтверждение прочности конструкции изделия при расчетных нагрузках;

2. Определение собственных частот изделия и его агрегатов;

3. Экспериментальная проверка методов расчета конструкции на прочность;

4. Оценка характеристик изделия при имитации условий транспортирования;

5. Проверка качества технологии изготовления и сборки изделия.

3. Организация испытаний

3.1. Методы и средства обеспечения испытаний

3.1.1. Испытания проводятся исполнителем испытаний.

3.1.2. Необходимые измерения при испытаниях выполняет отдел стендовых телеизмерений.

3.1.3. Испытания проводятся с участием представителей отдела прочности и разработчиков КА «Маяк».

3.1.4. В процессе проведения всех видов испытаний ведется их видеодокументирование с записью звука. В процессе видеосъемки в кадре должен находиться объект испытаний.

3.1.5. Испытания проводятся согласно ГОСТ В 22619-90.

3.1.6. Для проведения испытаний необходима следующая материальная часть:

– приспособление для крепления изделия к вибростенду для испытаний в трех взаимно-перпендикулярных направлениях;

– вибростенд электродинамический LDS 984 или V8-440T - 1 шт.;

3.2. Метрологическое обеспечение

3.2.1. Для выполнения испытаний по настоящей программе необходимы следующие средства измерений:

1. часы с секундомером 60-ЧП - 1 шт.;
2. барометр МД-49-2 - 1 шт.;
3. психрометр МВ-4М - 1 шт.;
4. весы РП-500Ш13М - 1 шт.

Примечание. Допускается применение аналогичных средств измерения или на класс выше.

3.2.2. Все применяемые средства измерения должны пройти метрологический контроль в соответствии с нормативной документацией государственной системы обеспечения единства измерений.

3.2.3. Испытательное оборудование должно быть аттестовано согласно ГОСТ Р 8.568-97.

4. Виды, последовательность и объем испытаний

Последовательность испытаний и соответствующие случаи нагружения приведены в Таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Последовательность испытаний и соответствующие случаи нагружения

№ Испытания	Виды и последовательность испытаний	Пункт программы испытаний	Максимальная нагрузка	Коэффициент безопасности	Случай нагружения, соответствующий данному виду испытаний
1	2	3	4	5	6
4.1	Контрольные проверки	6.6			
4.2	Частотные испытания	6.4.1 6.4.2	Таблица 6.3		
4.3	Испытания на случай «Транспортирование»	6.1 6.2	Таблица 6.1	1,5	Случай транспортирования
4.4	Испытания на центрифуге на линейные эксплуатационные и расчетные ускорения	6.3	Таблица 6.2	1,3	Случай действия максимальных линейных ускорений
4.5	Виброиспытания на случай полета	6.4 6.5	Таблица 6.4 Таблица 6.5 Таблица 6.6 Таблица 6.7 Таблица 6.8	1,5 – гарм. вибрации, 2,0 – случ. вибрации, 1,5 – ударные нагрузки	Воздействие вибрационных и ударных нагрузок на изделие при эксплуатации
4.6	Частотные испытания	6.4.1 6.4.2	Таблица 6.3		
4.7	Контрольные проверки	6.6			

5. Условия проведения испытаний на прочность

5.1. Общие требования к проведению испытаний

Испытания проводятся в нормальных климатических условиях:

- атмосферное давление от 86 до 106 кПа (от 630 до 800 мм рт. ст.);
- относительная влажность от 45 до 75%;
- температура воздуха от плюс 15 до плюс 35° С.

Для обеспечения близких к реальным условиям закрепления КА «Маяк» его вибродинамические испытания проводятся в транспортно-пусковом контейнере (ТПК).

В процессе испытаний проводится:

- регистрация этапов нагружения и соответствующих им нагрузок;
- видеофиксация процесса испытаний;
- запись показаний измерительных приборов на контролируемых этапах;
- анализ текущей информации;
- регистрация местных изменений объекта испытания (потеря устойчивости, износ, наклеп, разрушения).

Средства нагружения и измерения должны иметь техническую документацию в полном объеме.

6. Методика проведения испытаний

6.1. Общие требования к проведению испытаний на случай "Транспортирование"

6.1.1. Испытаниям подвергается КА «Маяк», размещенный в транспортном контейнере. Все раскрывающиеся элементы находятся в сложенном и зачекованном положении.

6.1.2. Режимы проведения испытаний задаются в соответствии с Таблицей 6.1 (ГОСТ РВ 20.57.305-98) и выдерживаются в плоскости стыка изделия с приспособлением.

Таблица 6.1 - Режимы проведения испытаний на случай «Транспортирование»

Пиковое ударное ускорение, g	Оси			Длительность действия ударного ускорения, мс	Общее число ударов
	$X_{КА}$	$Y_{КА}$	$Z_{КА}$		
	Количество ударов				
5	5000	5000	5000	от 2 до 10	15000

Примечание: Предпочтительная длительность ударного импульса 6 мс, частота повторения ударов в минуту - не более 120.

6.1.3. В процессе испытаний ведется регистрация показаний вибродатчиков, установленных на изделии в соответствии с перечнем приложения А. Показания всех вибродатчиков, полученные в начале, середине и конце испытаний, включить в отчет.

6.1.4. Допускаемые отклонения воспроизведения и поддержания заданных характеристик в ходе испытаний:

- по амплитуде виброускорений ± 20 %;
- по числу циклов ± 5 %.

6.2. Испытания на случай "Транспортирование"

6.2.1. КА «Маяк», размещенный в транспортном контейнере, установить на приспособление для крепления к вибростенду. Все раскрывающиеся элементы находятся в сложенном и зачекованном положении.

6.2.2. Приспособление с установленной на нем сборкой КА «Маяк»–транспортный контейнер пристыковать к вибростенду для проведения испытаний в направлении оси Y в соответствии с Рисунком 6.1.

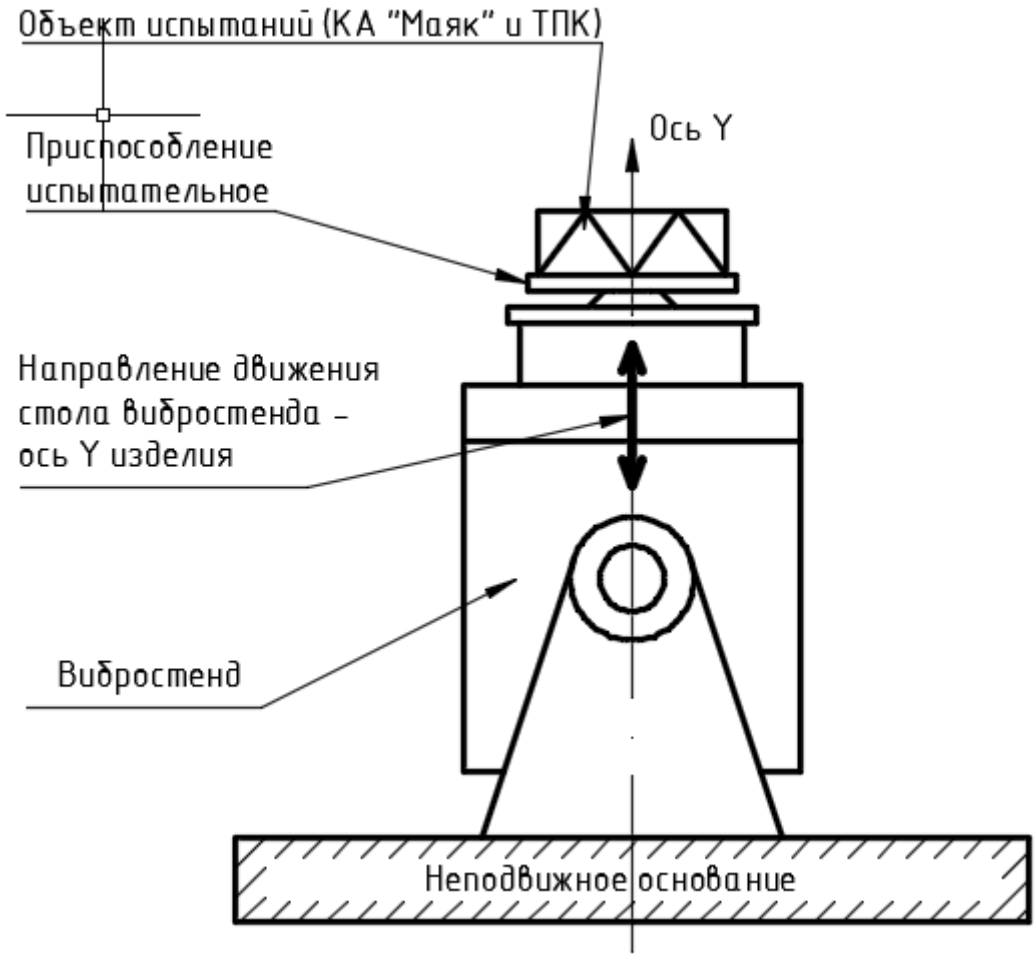


Рисунок 6.1 - Схема установки сборки КА «Маяк» – транспортный контейнер на вибростенд для проведения испытаний в направлении оси Y

6.2.3. Провести испытания в направлении оси Y в соответствии с п.6.1.2.

6.2.4. Приспособление с установленной на нем сборкой пристыковать к вибростенду для проведения испытаний в направлении оси X в соответствии с Рисунком 6.2.

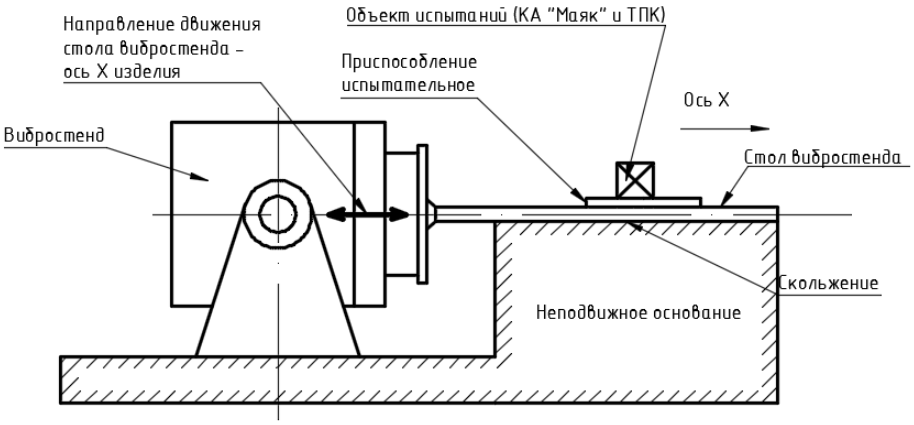


Рисунок 6.2 - Схема установки сборки КА «Маяк»– транспортный контейнер на вибростенд для проведения испытаний в направлении оси X

6.2.5. Провести испытания в направлении оси X в соответствии с п.6.1.2.

6.2.6. Приспособление с установленной на нем сборкой пристыковать к вибростенду для проведения испытаний в направлении оси Z в соответствии с Рисунком 6.3.

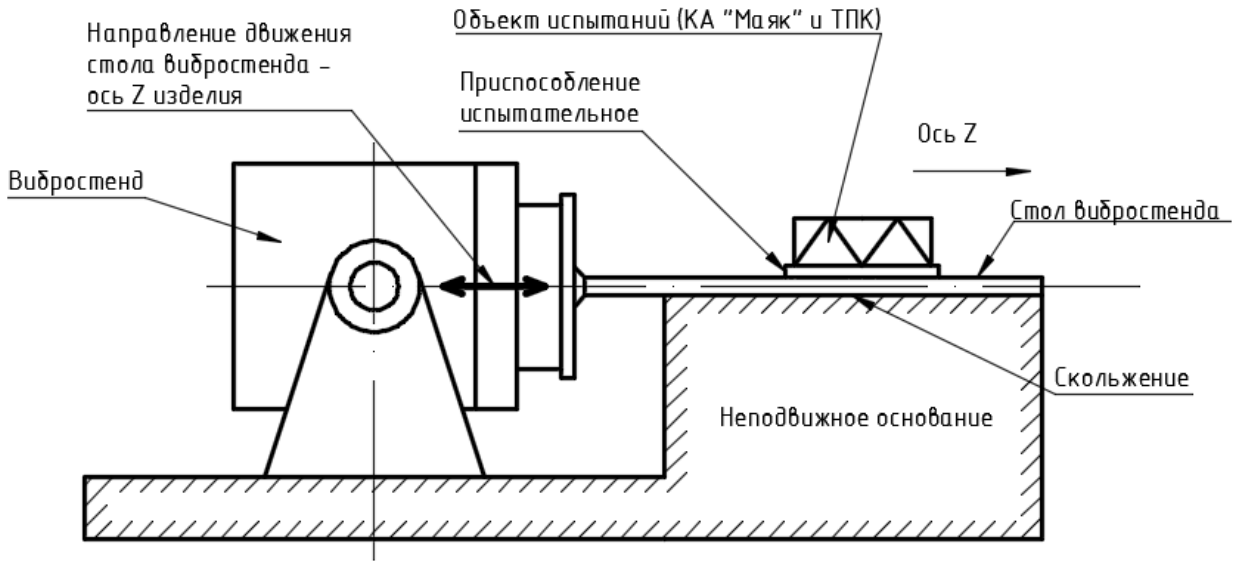


Рисунок 6.3 - Схема установки сборки КА «Маяк» – транспортный контейнер на вибростенд для проведения испытаний в направлении оси Z

6.2.7. Провести испытания в направлении оси Z в соответствии с п.6.1.2.

6.2.8. После каждого испытания по осям X,Y,Z проводить внешний осмотр сборки на отсутствие механических повреждений и ослабления креплений.

6.3. Испытания на центрифуге на случай максимальных линейных ускорений

6.3.1. Испытаниям подвергается КА «Маяк», размещенный внутри ТПК. Все раскрывающиеся элементы находятся в сложенном и зачекованном положении.

6.3.2. При испытаниях проверяется прочность основных силовых элементов изделия и его стыков при действии эксплуатационных и расчетных нагрузок.

6.3.3. Сборка для испытаний в направлении осей X,Y и Z с помощью приспособления для крепления к центрифуге устанавливается в соответствии с Рисунком 6.4, 6.5 и 6.6

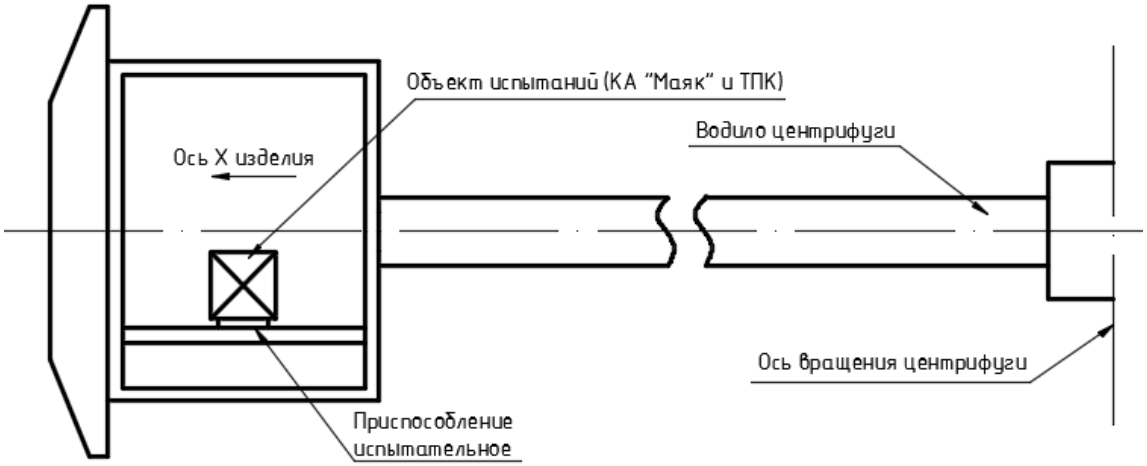


Рисунок 6.4 - Схема установки сборки КА «Маяк» – ТПК на центрифугу для проведения испытаний в направлении оси X

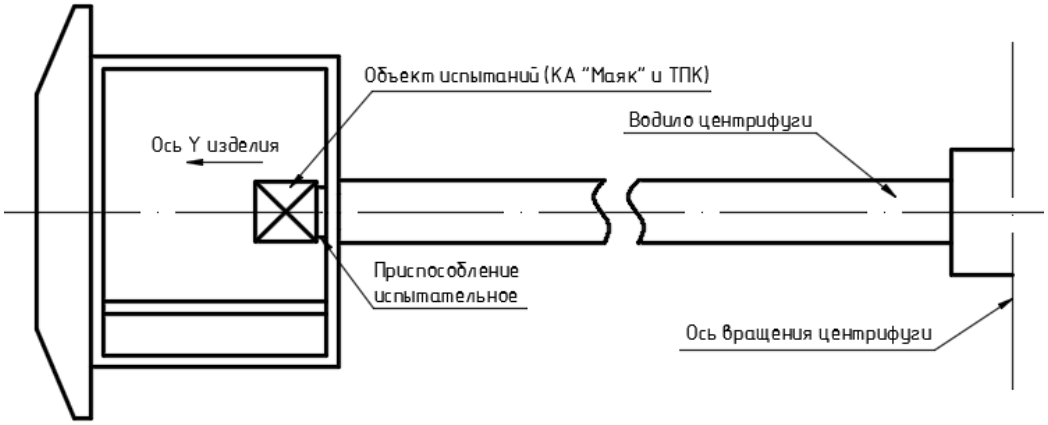


Рисунок 6.5 - Схема установки сборки КА «Маяк» – ТПК на центрифугу для проведения испытаний в направлении оси Y

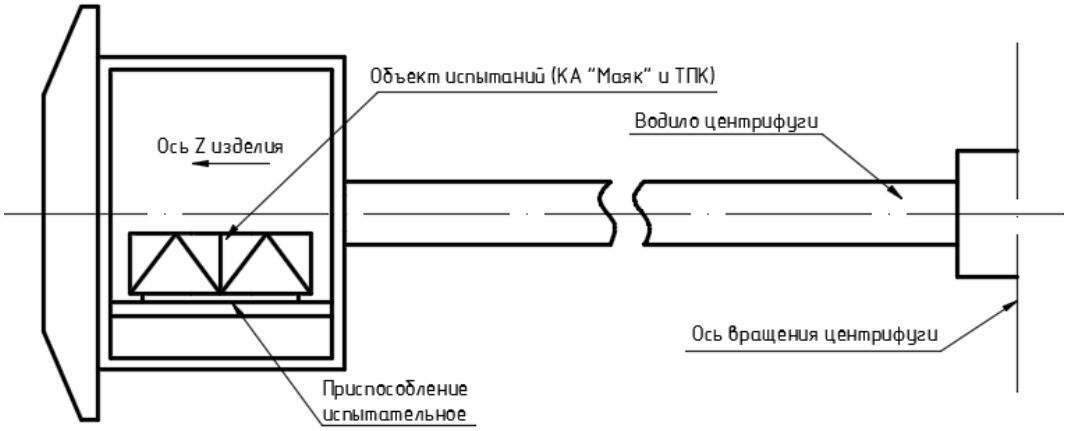


Рисунок 6.6 - Схема установки сборки КА «Маяк» – ТПК на центрифугу для проведения испытаний в направлении оси Z

6.3.4. Создать по центру масс испытуемой сборки линейные ускорения в соответствии с Таблицей 6.2.

Таблица 6.2 - Параметры ускорений при проверке прочности конструкции КА «Маяк» при воздействии квазистатических нагрузок

Направление действия	Ускорение, $м/с^2$ (g)
Продольное (вдоль полетной оси Y)	98,1 (10)
Поперечное (оси X,Z)	49,05 (5)

Примечания:

1. Время воздействия по каждой оси 10 мин,
2. Квазистатические ускорения при наземной эксплуатации КА на этапе предстартовой подготовки не превышают значения приведенных для этапа выведения РН.
3. Ускорение при испытаниях на центрифуге определяется по числу оборотов вала центрифуги.
4. При испытаниях на центрифуге допустимое отклонение величины ускорения от заданной не более - 10 % + 30%.

6.4. Общие требования к виброиспытаниям и испытаниям на ударные воздействия

6.4.1. Перед и после испытаний на квалификационном уровне проводятся частотные испытания в диапазоне от 5 до 2000 Гц синусоидальной вибрацией малого уровня, целью которых является выявление резонансных частот, а также уточнение режимов испытаний на вибропрочность.

6.4.2. При частотных испытаниях изделия режимы задаются по Таблице 6.3.

Таблица 6.3 - Режимы проведения частотных испытаний

Диапазоны частот, Гц	Амплитуды виброускорений, g
5 -10	0,3
10 – 20	0,3
20 – 40	0,3
40 – 80	0,5
80 – 160	1,0
160 – 320	1,0

320 - 640	1,0
640 – 1280	1,0
1280 - 2000	1,0

Примечания:

1. Время испытаний в каждом октавном диапазоне 60 с, скорость прохождения - не более 1 окт/мин.
2. Режимы задаются по стыку испытуемой сборки с приспособлением по максимуму амплитуды основной гармонической составляющей (стратегия управления "Harmonic", max).
3. Показания вибродатчиков регистрировать непрерывно. В отчет поместить записи показаний вибродатчиков до и после испытаний на вибропрочность на одном графике.

6.4.3. В диапазоне частот от 5 до 20 Гц вибропрочностные испытания проводятся на синусоидальную вибрацию на режимах Таблицы 6.4.

Таблица 6.4 - Режимы проведения вибропрочностных испытаний на гармоническую вибрацию в диапазоне частот от 5 Гц до 20 Гц

Этап эксплуатации	Время действия, сек	Поддиапазоны частот, Гц			
		1 – 2	2 – 5	5 – 10	10 – 20
		Амплитуда виброускорения, g, (g = 9,81 м/с^2)			
Работа ступ. РН	600	0,3-0,5	0,5	0,5-1,0	1,0
Работа ДУ РБФ	875	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5

Примечания:

1. Если собственные частоты КА «Маяк» выше 40 Гц и проведена квалификация на квазистатические нагрузки, то испытания гармонической вибрацией в диапазоне до 20 Гц допускается не проводить.

2. В процессе виброиспытаний допускается проводить ограничения входного воздействия на резонансных частотах.

3. Изменение амплитуд виброускорений в пределах каждого поддиапазона частот – линейное.

4. Допускается проведение испытаний с постоянной амплитудой ускорения в любом поддиапазоне частот в пределах каждого октавного диапазона, равной среднеарифметическому из значений на границах поддиапазона.

5. Режимы задаются по стыку испытуемой сборки с приспособлением по максимуму показаний задающих датчиков (стратегия управления "RMS" или "Harmonic", max).

6.4.4. В диапазоне частот от 20 до 2000 Гц вибропрочностные испытания проводятся на случайную вибрацию на режимах Таблицы 6.5.

Режим испытаний на случайную вибрацию задается по максимуму спектральных характеристик (PSD, g^2/Гц) показаний датчиков, установленных на приспособлении у узлов крепления объекта испытаний и в контрольных точках, выбранных по результатам частотных испытаний по Таблице 6.3 и испытаний на уровнях – 20 дБ, –12 дБ и –6 дБ от режимов случайной вибрации Таблицы 6.5.

Допускаемое отклонение воспроизведения и поддержания заданных спектральных характеристик в ходе испытаний:

- по уровню спектральной плотности виброускорений ± 3 дБ;
- по амплитуде виброускорения ± 20 %;
- по времени ± 10 %;
- по частоте вибрации ± 0,5 Гц на частотах ниже 25 Гц и ± 2 % на частоте 25 Гц и выше;
- по суммарному среднеквадратичному ускорению случайной вибрации ± 2 дБ.

Таблица 6.5 - Режимы проведения вибропрочностных испытаний на случайную вибрацию в диапазоне частот от 20 Гц до 2000 Гц

Этап эксплуатации	Время воздействия режима, с	Поддиапазоны частот, Гц					
		20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000
		Спектральная плотность виброускорения, g^2/Гц					
Работа ступеней РН	120	0,02	0,02	0,02-0,05	0,05	0,05-0,025	0,025-0,013
	480	0,02	0,02	0,02	0,02-0,008	0,008-0,004	0,004-0,002
Работа ДУ РБФ	875	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004-0,002

Примечания:

1. Изменение значений спектральной плотности от частоты - линейное (при логарифмическом масштабе частоты и спектральной плотности).
2. Испытания на прочность допускается проводить на уровнях работы ступеней РН.
3. Допускается замена испытаний при воздействии случайной вибрации на режимах Таблицы 6.5 испытаниями при воздействии гармонической вибрации на режимах Таблицы 6.6 при плавном изменении частоты в прямом (от нижней частоты до верхней) и в обратном направлениях со скоростью не более 0,5 окт/мин на частотах до 100 Гц и 1 окт/мин на частотах выше 100 Гц.
4. Запись показаний вибродатчиков, установленных на изделии согласно перечню приложения А, при испытаниях по п. 6.5 вести непрерывно. Кроме того, вести запись показаний задающих вибродатчиков в процессе выхода на режим и окончания режима.
5. Допускается вибрационные испытания изделия начинать с любой оси.
6. Величины виброускорений заданы в единицах g, где g = 9,81 м/с2 - ускорение свободного падения.

Таблица 6.6. Режимы проведения вибропрочностных испытаний на гармоническую вибрацию в диапазоне частот от 5 Гц до 2000 Гц

Диапазоны частот, Гц	Амплитуды виброускорений, g
от 5 до 10	0,5 - 1,0
от 10 до 20	1,0
от 20 до 40	1,0 - 1,5
от 40 до 80	1,5 - 2,0
от 80 до 160	2,0 - 4,0
от 160 до 320	4,0 - 8,0
от 320 до 640	8,0 - 10,0
от 640 до 1280	10
от 1280 до 2000	10

Примечания:

1. Изменение амплитуд виброускорений в пределах каждого поддиапазона частот – линейное.
2. Допускается проведение испытаний с постоянной амплитудой ускорения в любом поддиапазоне частот в пределах каждого октавного диапазона, равной среднеарифметическому из значений на границах поддиапазона.

Режим испытаний на гармоническую вибрацию выше 20 Гц задается по максимуму показаний датчиков, установленных на приспособлении у узлов крепления объекта испытаний и в контрольных точках, выбранных по результатам частотных испытаний по таблице 6.3 (стратегия управления "RMS" или "Harmonic", max).

6.4.5. Испытания на ударное воздействие от систем разделения РН проводятся на режимах Таблицы 6.7.

Таблица 6.7 – Параметры нагрузок при проверке прочности конструкции КА «Маяк» - ТПК при воздействии ударных нагрузок от систем разделения РН

Частота, f, Гц	100-200	200-500	500-1000	1000-2000	2000-5000
Ускорение, A_s, g	15-40	40-175	175-500	500	500-1000

Примечания:

1. Количество воздействий: 5.
2. Ударные нагрузки в Таблице 6.6 заданы по каждой из трех взаимно перпендикулярных осей в виде спектров ударных ускорений при добротности Q =10.
3. Изменение ускорения в пределах каждого частотного поддиапазона - линейное при логарифмическом масштабе по частоте и амплитуде ускорения.
4. Допускается заменить воздействие в соответствии с режимами Таблицы 6.7. на ударные импульсы длительностью 0,5 – 2 мс и амплитудой 40 g.

6.4.6. Испытания на ударное воздействие от системы отделения КА «Маяк» проводятся на режимах Таблицы 6.8.

Таблица 6.8 – Параметры нагрузок при проверке прочности конструкции КА «Маяк» - ТПК при воздействии ударных нагрузок от системы отделения КА «Маяк»

Частота, f, Гц	100-200	200-500	500-1000	1000-2000	2000-5000
Ускорение, As, g	100-200	200-500	500-1000	1000-3000	3000-10000

Примечания:

1. Количество воздействий: 1.
2. Ударные нагрузки в Таблице 6.7 заданы по каждой из трех взаимно перпендикулярных осей в виде спектров ударных ускорений при добротности Q =10.
3. Изменение ускорения в пределах каждого частотного поддиапазона - линейное при логарифмическом масштабе по частоте и амплитуде ускорения.
4. Допускается заменить воздействие в соответствии с режимами Таблицы 6.7. на ударные импульсы длительностью 0,5 – 2 мс и амплитудой 150 g.

6.5. Виброиспытания на случай полета

6.5.1. Испытаниям подвергается КА «Маяк», размещенный в ТК. Все раскрывающиеся элементы находятся в сложенном и зачекованном положении.

6.5.2. Изделие закрепить на приспособлении для крепления к вибростенду.

6.5.3. Приспособление с установленным на нем изделием пристыковать к вибростенду для проведения испытаний в направлении оси X в соответствии с Рисунком 6.2.

6.5.4. Провести вибрационные испытания в направлении оси X в соответствии с п. 6.4.

6.5.5. Провести испытания на ударные воздействия от систем разделения РН в направлении оси X в соответствии с п. 6.4.

6.5.6. Провести испытания на ударные воздействия от системы отделения КА «Маяк» в направлении оси X в соответствии с п. 6.4.

6.5.7. Приспособление с установленным на нем изделием пристыковать к вибростенду для проведения испытаний в направлении оси Y в соответствии с Рисунком 6.1.

6.5.8. Провести вибрационные испытания в направлении оси Y в соответствии с п. 6.4.

6.5.9. Провести испытания на ударные воздействия от систем разделения РН в направлении оси Y в соответствии с п. 6.4.

6.5.10. Провести испытания на ударные воздействия от системы отделения КА «Маяк» в направлении оси Y в соответствии с п. 6.4.

6.5.11. Приспособление с установленным на нем изделием пристыковать к вибростенду для проведения испытаний в направлении оси Z в соответствии с Рисунком 6.3.

6.5.12. Провести вибрационные испытания в направлении оси Z в соответствии с п. 6.4.

6.5.13. Провести испытания на ударные воздействия от систем разделения РН в направлении оси Z в соответствии с п. 6.4.

6.5.14. Провести испытания на ударные воздействия от системы отделения КА «Маяк» в направлении оси Z в соответствии с п. 6.4.

6.5.15. После каждого испытания по осям X,Y,Z проводить внешний осмотр сборки на отсутствие механических повреждений и ослабление креплений.

6.6. Методика проведения контрольных проверок

6.6.1. Контрольные проверки проводятся в соответствии с пунктами п.4 документа МАЯК-КИЭМ-ПМ-1.Ver 2.

7. Оценка результатов испытаний

7.1. Изделие считать выдержавшим испытания при положительных результатах испытаний, отсутствии механических повреждений после воздействия испытательных нагрузок и отсутствии собственных частот в диапазоне до 40 Гц.

7.2. В случае разрушения при испытаниях какого-либо элемента проводится его доработка согласно решению, принятому представителями организации-разработчика КА «Маяк», и дополнительные испытания в составе изделия. Поломка других элементов конструкции при дополнительных испытаниях не является браковочным признаком.

7.3. Дополнительные испытания в составе изделия могут быть заменены соответствующими автономными испытаниями отдельных агрегатов по согласованию с представителем организации-разработчика КА «Маяк».

7.4. Недопустимыми считаются следующие неисправности и дефекты, выявленные в результате проверок после воздействия испытательных нагрузок:

– механические разрушения элементов конструкции изделия,

– неотработка штатной циклограммы КА «Маяк».

8. Техника безопасности

8.1. При проведении испытаний по данной программе, необходимо руководствоваться указаниями по технике безопасности, изложенными в инструкциях и положениях, действующих в испытательном подразделении.

8.2. Объем требований по технике безопасности определяется содержанием работ по конкретному виду испытаний.

8.3. Особое внимание обратить на выполнение требований по технике безопасности при работах:

– с движущимися элементами;

– с подъемным оборудованием.

8.4. Ответственным за соблюдением правил техники безопасности на каждом этапе является начальник подразделения, проводящего испытания.

9. Отчетность

9.1. Результаты испытаний по каждому пункту оформляются протоколом испытаний.

9.2. По результатам испытаний на прочность выпускается отчет не позднее, чем через один месяца после окончания испытаний.

9.3. К отчету прилагаются результаты измерений и анализ дефектов, полученных в результате проведенных испытаний.

9.4. Отчет выпускаются в соответствии с требованиями ГОСТ В 22619-90.

Приложение А. Перечень вибродатчиков, устанавливаемых на КА «Маяк»

Места установки вибродатчиков приведены в Таблице ПА1. Вибродатчики Д1-Д4 из Таблицы ПА1 устанавливаются на испытательное приспособление у узла стыка с ТПК КА «Маяк», датчики Д5-Д21 устанавливаются на внешнюю поверхность ТПК.

Таблица ПА1. Места установки вибродатчиков

Место установки датчика. Тип датчика	Маркировка	Ось	Примечание
1	2	3	4
Приспособление у узла стыка с ТПК КА «Маяк». Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д1	Ось возбуждения	Устанавливается исполнителем испытаний
Приспособление у узла ТПК КА КА «Маяк». Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д2	Ось возбуждения	Устанавливается исполнителем испытаний
Приспособление у узла ТПК КА КА «Маяк». Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д3	Ось возбуждения	Устанавливается исполнителем испытаний
Приспособление у узла ТПК КА КА «Маяк». Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д4	Ось возбуждения	Устанавливается исполнителем испытаний
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д5	+Y	Рисунок ПА1
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д6	+Y	Рисунок ПА1
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д7	+Y	Рисунок ПА1
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д8	+Y	Рисунок ПА1
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д9	-X	Рисунок ПА1

ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д10	-X	Рисунок ПА1
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д11	-X	Рисунок ПА1
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д12	-X	Рисунок ПА1
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д13	+X	Рисунок ПА2
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д14	+X	Рисунок ПА2
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д15	+X	Рисунок ПА2
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д16	+X	Рисунок ПА2
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д17	-Y	Рисунок ПА3
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д18	-Y	Рисунок ПА3
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д19	-Y	Рисунок ПА3
ТПК КА «Маяк», Одноосевой Brüel&Kjær 4519.	Д20	-Y	Рисунок ПА3
ТПК КА «Маяк», Трехосевой Brüel&Kjær 4504A.	Д21	+Z	Рисунок ПА3

Примечания:

1. Для измерений при испытаниях № 4.2, 4.3, 4.4 и 4.4 из Таблицы 4.1 используются акселерометры трехосевые Brüel&Kjær 4504A и одноосевые Brüel&Kjær 4519 или Brüel&Kjær 4513 или KD91 или любого другого типа с аналогичными характеристиками.

2. В процессе испытаний места устанавливаемых датчиков могут уточняться по согласованию с руководителем испытаний и представителями отдела прочности.

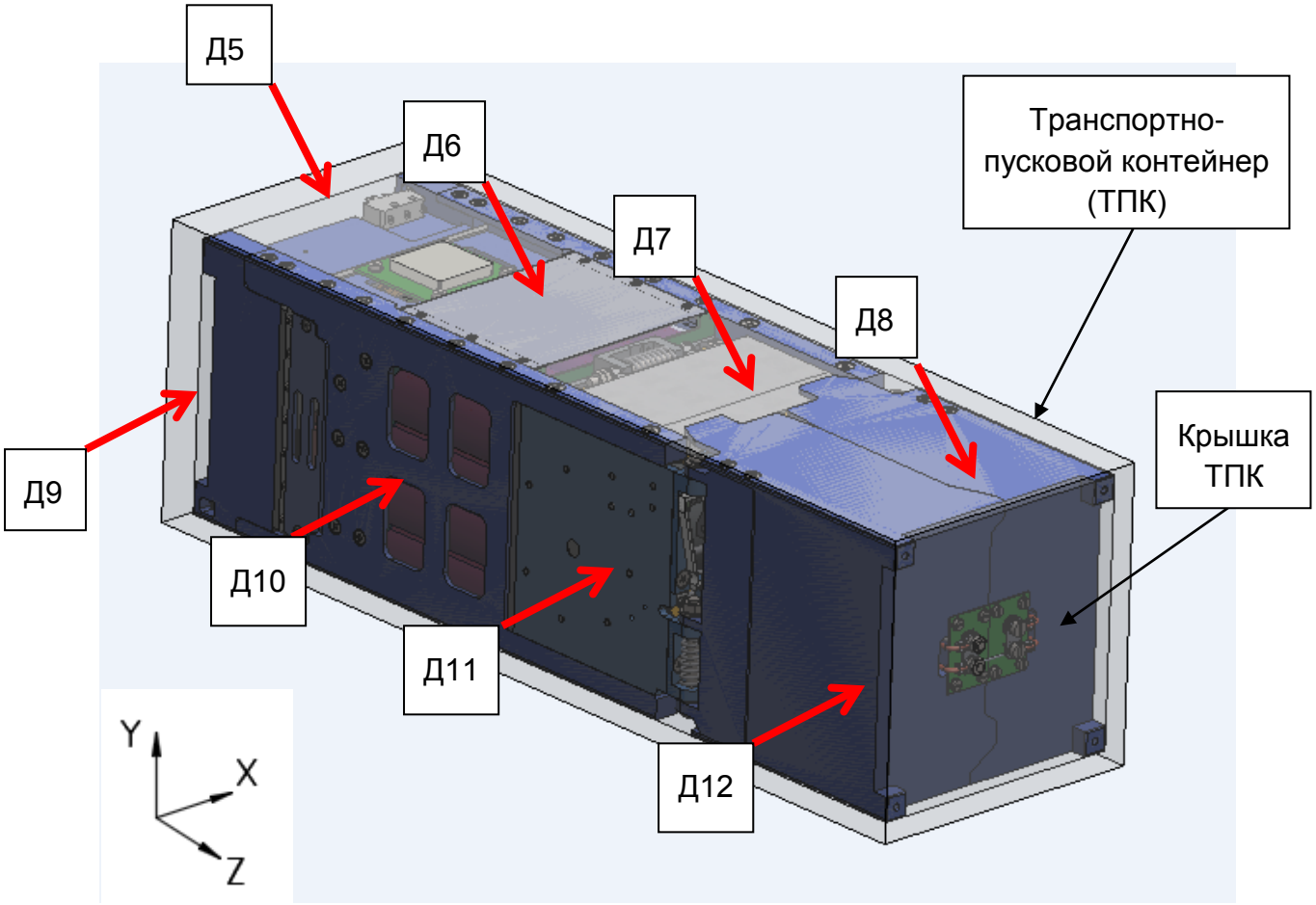


Рисунок ПА1. Места установки датчиков Д5-Д12

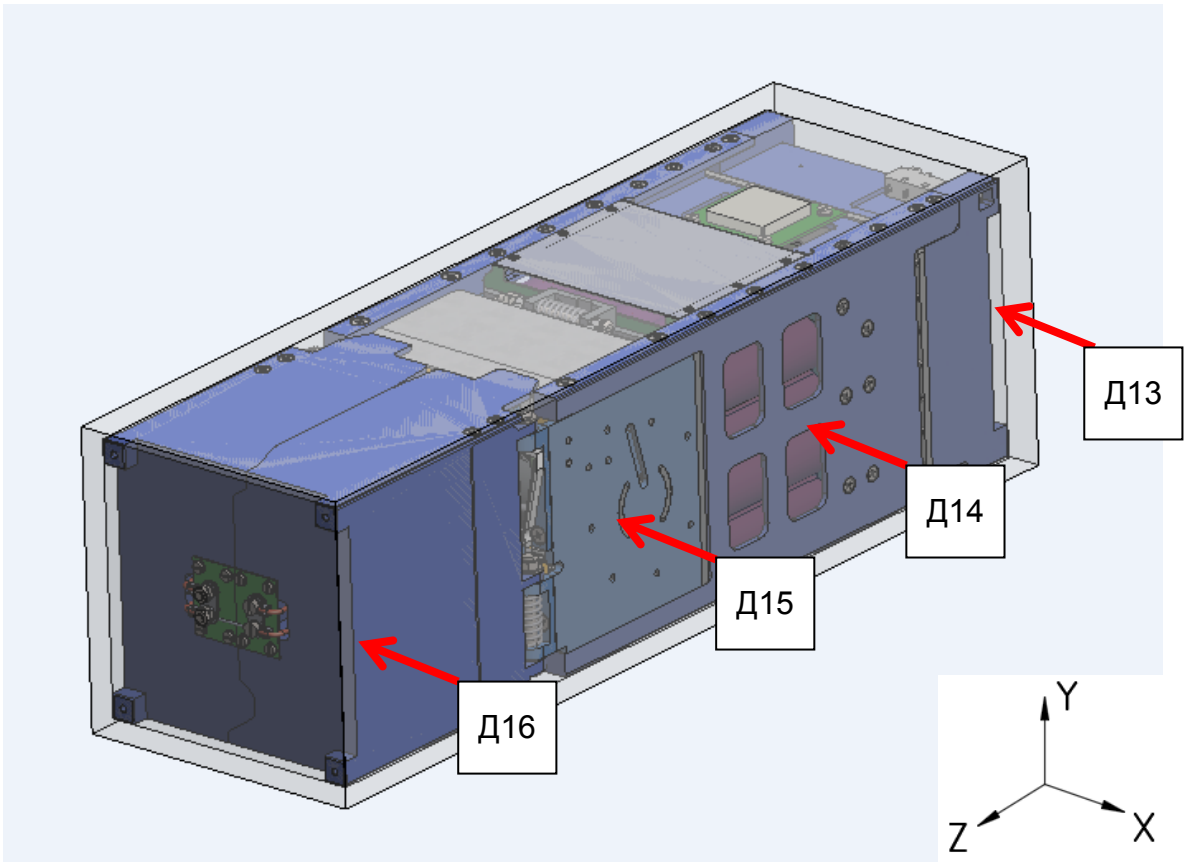


Рисунок ПА2. Места установки датчиков Д13-Д16

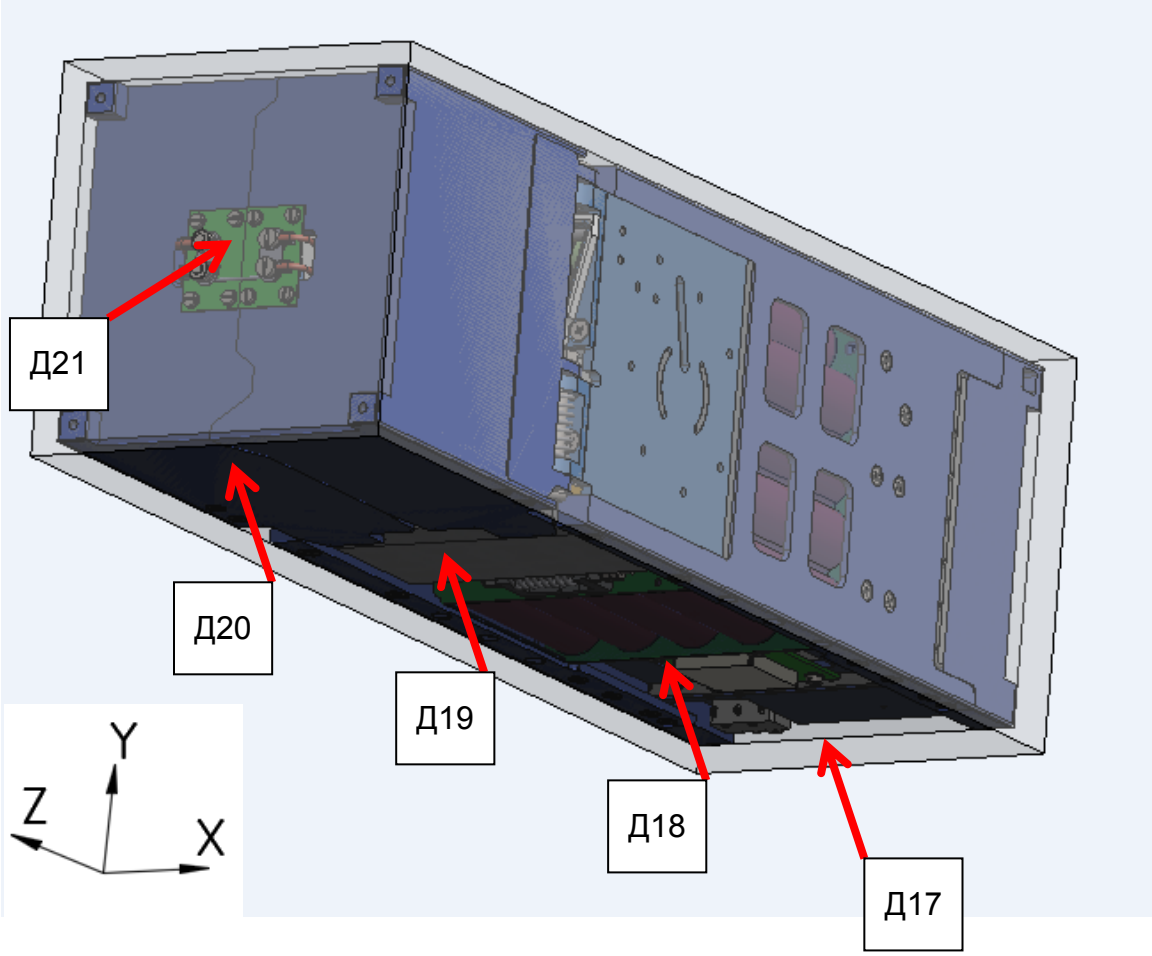
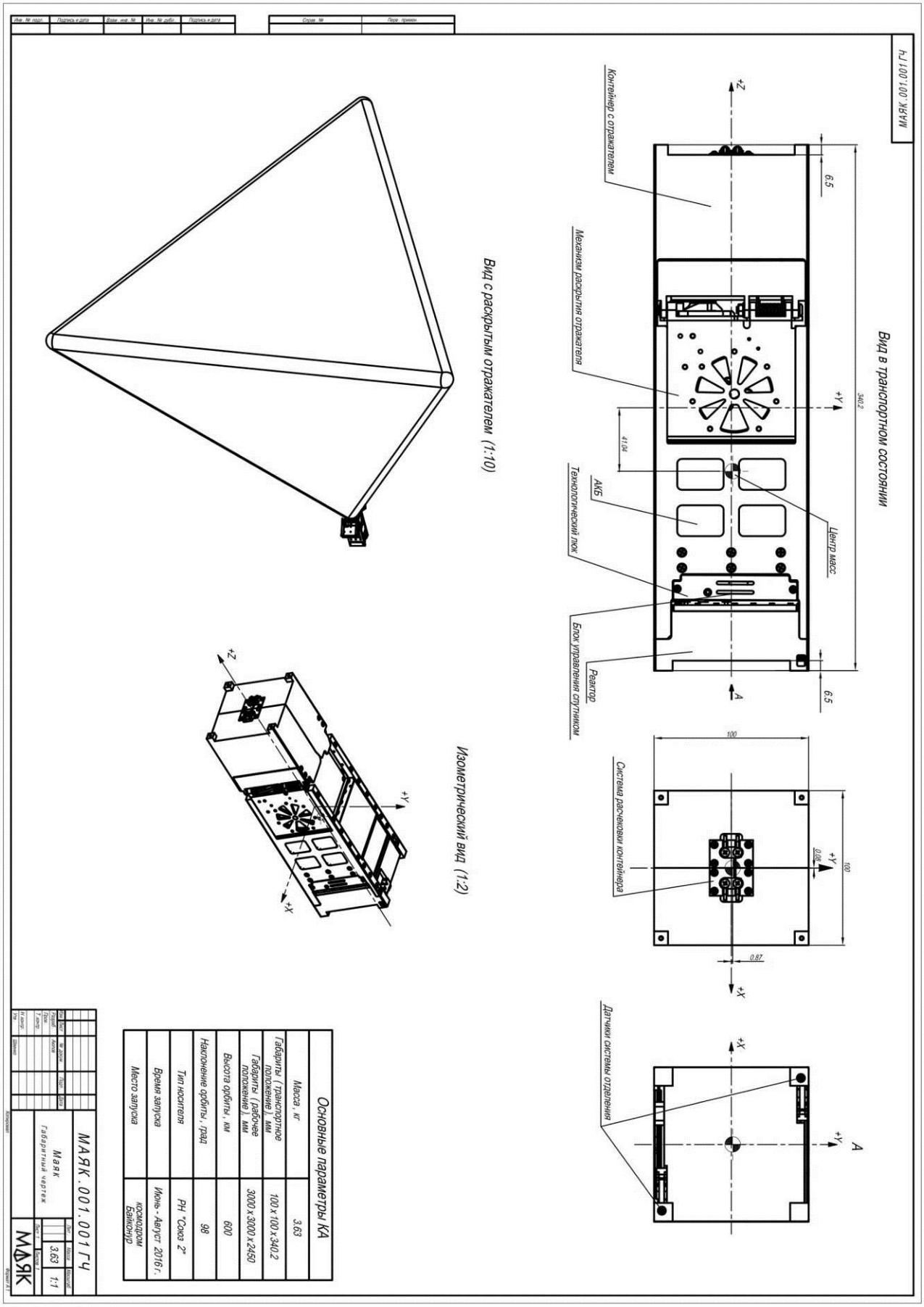


Рисунок ПА3. Места установки датчиков Д17-Д21

Приложение Б. Габаритный чертеж КА «Маяк»



Приложение В. Перечень ссылочных документов

Обозначение	Наименование	Пункт программы
ГОСТ В 22619-90		Реферат, 3.1.5, 9.4
ГОСТ Р8.568-97	Аттестации испытательного оборудования. Основные положения.	3.2.3
ГОСТРВ 20.57.305-98		6.1.2

АО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ»
ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

143502, Московская область, г.Истра, ул.Панфилова, 11. Тел.: (495) 994-52-31, факс: (499) 254-53-75.

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель генерального директора
по контролю качества АО «НИИЭМ»
_____ С.П. Скоробогатов
«___» _____ 2016 г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ №08АЮ.2527

на вибродинамическую прочность
Космический аппарат «Маяк»

1. Объект испытаний:
Космический аппарат (КА) «Маяк», размещенный в испытательной оснастке.

2. Заказчик испытаний:
ООО «А-Глобус»

3. Цель испытаний:
Отработка прочности изделия при воздействии динамических нагрузок в соответствии с принятыми расчетными случаями нагружения.

4. Программа испытаний:
Космический аппарат «Маяк». Программа и методика испытаний на статическую и вибродинамическую прочность МАЯК-ВДИ- ПМ-1 в соответствии с требованиями ГОСТ В 22619-90.

5. Дата испытаний:
Испытания проведены с 09.09.16 г. по 13.09.16 г.

6. Место испытаний:
Испытательный центр АО «НИИЭМ», Московская область, г. Истра, ул. Панфилова, 11

7. Условия испытаний:
Температура окружающего воздуха: +25 °С
Относительная влажность: 55 %
Атмосферное давление: 750 мм.рт.ст.

8. Испытательное оборудование и средства измерений:

Наименование	Тип	Заводской номер	Сведения об аттестации (поверке)
Анализатор спектра	ZET 017-U8	955	Свидетельство о поверке №АА 1136780 действителен до 11.02.2017 г.
Вибростенд	ВЭДС-1500	73	Протокол аттестации №08АЮ.2279 действителен до 29.12.2017 г.
Анализатор спектра	MIC 300M	30122	Свидетельство о поверке №АА 1317705 действителен до 19.06.2017 г.
Ударный стенд	TIRAshock 4110	22/88	Протокол аттестации №08АЮ.2036 действителен до 13.06.2017 г.
Центрифуга	ИСЛУ-300	1	Протокол аттестации №08АЮ.2461.01 действителен до 06.07.2017 г

9. Методика испытаний:
Для обеспечения близких к реальным условиям закрепления КА «Маяк» его вибродинамические испытания проводились в испытательной оснастке, предоставленной разработчиком КА «Маяк».
КА «Маяк» в оснастке был установлен на приспособление для крепления к вибростенду.
Все раскрывающиеся элементы находились в сложенном и зачекованном положении.

9.1 Испытания на многократные удары на случай транспортирования. КА «Маяк» был закреплён на вибростенде и подвергался вибрации согласно методике испытаний.
Значения параметров испытательного процесса указаны в Таблице 1

Таблица 1

Пиковое ударное ускорение, g	Оси			Длительность действия ударного ускорения, мс	Общее число ударов
	$X_{КА}$	$Y_{КА}$	$Z_{КА}$		
	Количество ударов				
5	5000	5000	5000	6	15000

9.2 Испытания на центрифуге на случай максимальных линейных ускорений.
КА «Маяк» был закреплён на центрифуге и подвергался воздействию квазистатических ускорений согласно методике испытаний.
Значения параметров испытательного процесса указаны в Таблице 2.

Таблица 2

Направление действия	Ускорение, м/с^2 (g)	Длительность воздействия, мин
Продольное (вдоль полетной оси Y)	98,1 (10)	10
Поперечное (оси X,Z)	49,05 (5)	10

9.3 Испытание на обнаружение резонансных частот конструкции. КА «Маяк» был закреплён на вибростенде и подвергался вибрации согласно методике испытаний.
Значения параметров испытательного процесса указаны в Таблице 3

Таблица 3

Диапазоны частот, Гц	Амплитуды виброускорений, g	Скорость прохождения диапазона, окт/мин
5 -10	0,3	1
10 – 20	0,3	
20 – 40	0,3	
40 – 80	0,5	
80 – 160	1,0	
160 – 320	1,0	
320 - 640	1,0	
640 – 1280	1,0	
1280 - 2000	1,0	

Изменение амплитуд виброускорений в пределах каждого поддиапазона частот – линейное.

9.4 Испытаний на воздействие случайной вибрации. КА «Маяк» был закреплён на вибростенде и подвергался вибрации в трёх взаимно перпендикулярных направлениях согласно методике испытаний.
Значения параметров испытательного процесса указаны в Таблице 4.

Таблица 4

Этап эксплуатации	Время воздействия режима, с	Поддиапазоны частот, Гц					
		20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000
		Спектральная плотность виброускорения, g^2/Гц					
Работа ступеней РН	120	0,02	0,02	0,02-0,05	0,05	0,05-0,025	0,025-0,013
	480	0,02	0,02	0,02	0,02-0,008	0,008-0,004	0,004-0,002

Работа ДУ РБФ	875	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004-0,002

Изменение значений спектральной плотности от частоты - линейное (при логарифмическом масштабе частоты и спектральной плотности).

9.5 Испытания при воздействии ударных нагрузок от систем разделения РН. КА «Маяк» был закреплён на ударном стенде и подвергался ударам в трёх взаимно перпендикулярных направлениях согласно методике испытаний.
Значения параметров испытательного процесса указаны в Таблице 4.
Таблица 4

Ускорение, g	Длительность ударного воздействия, мс	Число ударов в каждом направлении	Направление воздействия
40	2	5	В трёх взаимно перпендикулярных направлениях

9.6 Испытания при воздействии ударных нагрузок от системы отделения КА «Маяк». КА «Маяк» был закреплён на ударном стенде и подвергался ударам в трёх взаимно перпендикулярных направлениях согласно методике испытаний.
Значения параметров испытательного процесса указаны в Таблице 5.
Таблица 5

Ускорение, g	Длительность ударного воздействия, мс	Число ударов в каждом направлении	Направление воздействия
150	1	1	В трёх взаимно перпендикулярных направлениях

10. Результаты испытаний:
После проведения испытаний был проведен внешний осмотр КА «Маяк». Повреждений и ослабление креплений, дефектов внешнего вида не обнаружено.

Амплитудно-частотные характеристики объекта испытаний приведены на рисунках 1-3.

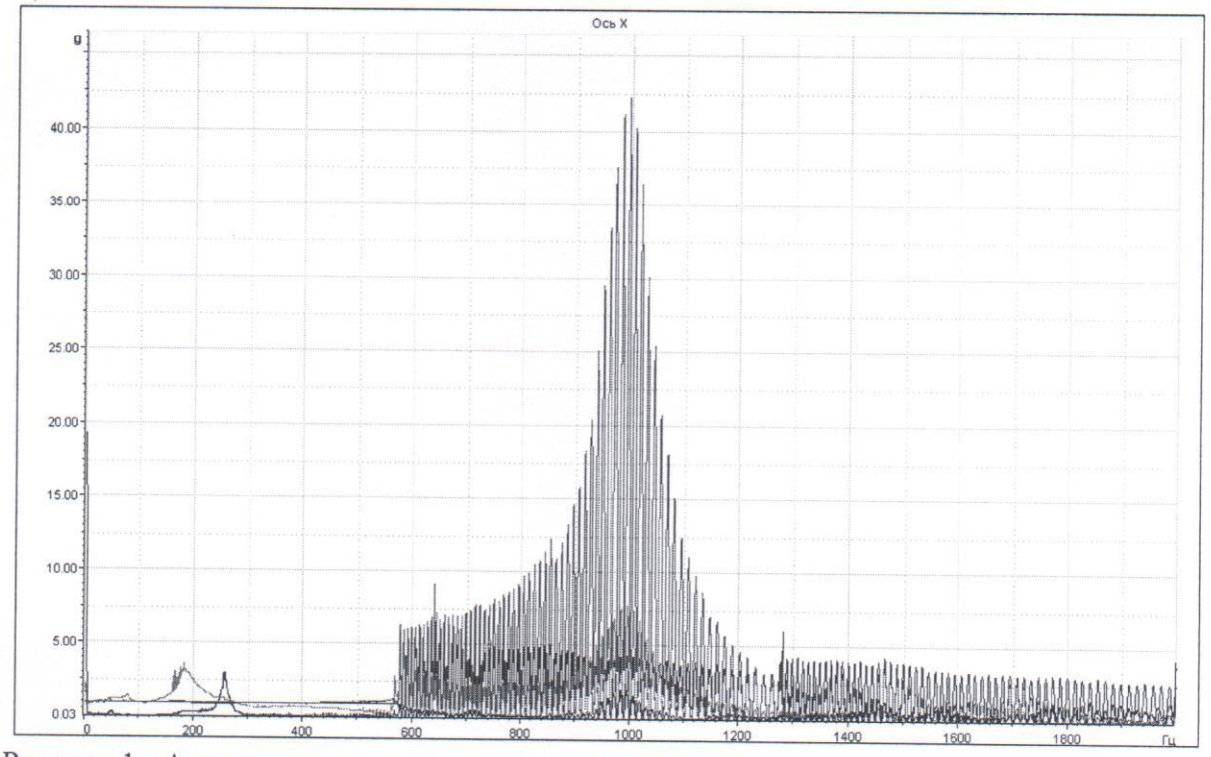


Рисунок 1 - Амплитудно-частотная характеристика объекта испытаний при возбуждении вдоль оси X

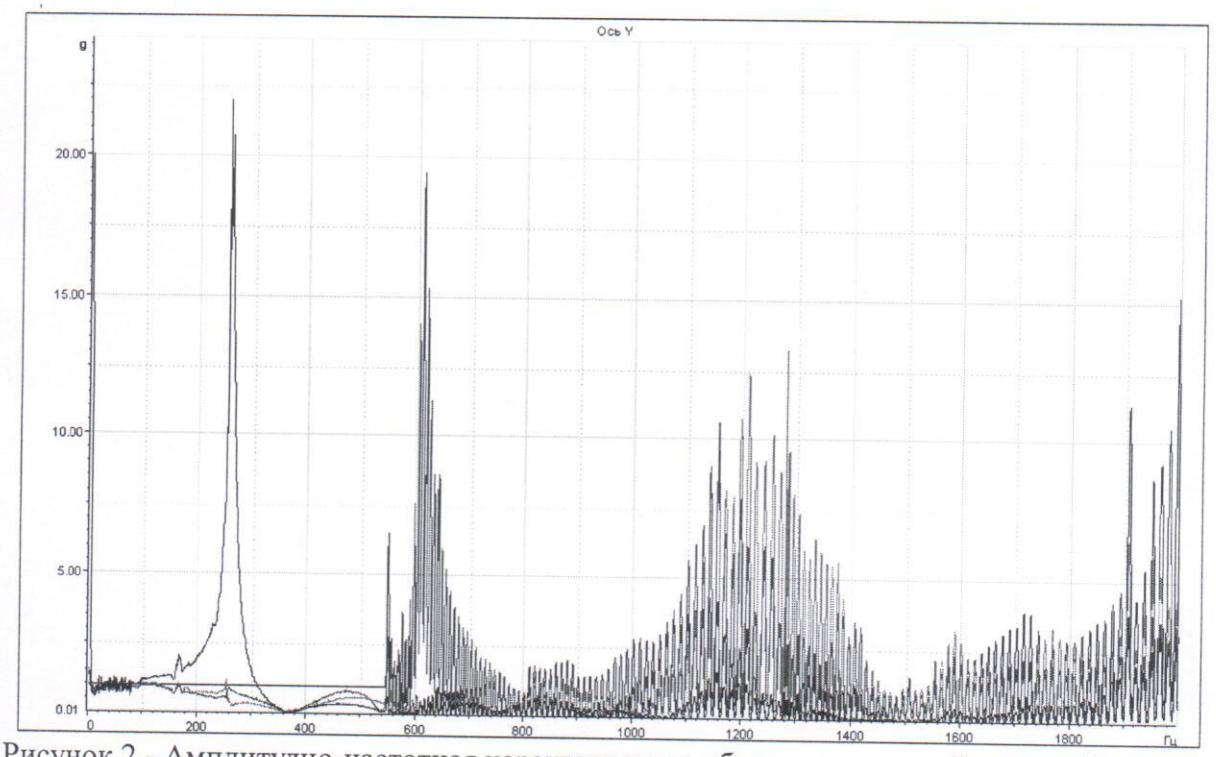


Рисунок 2 - Амплитудно-частотная характеристика объекта испытаний при возбуждении вдоль оси Y

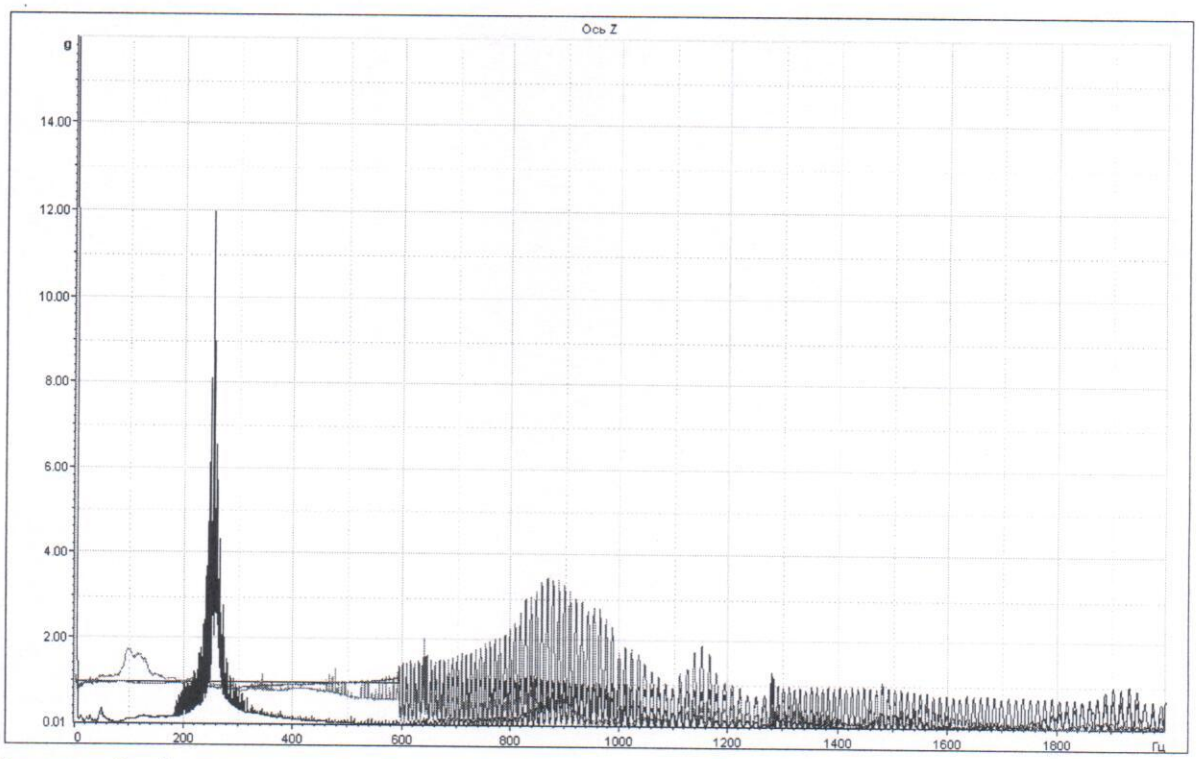


Рисунок 3 - Амплитудно-частотная характеристика объекта испытаний при возбуждении вдоль оси Z

От АО «НИИЭМ»:

Начальник испытательного центра А.С. Голачев

Исполнитель А.М. Штабе

От ООО «А-Глобус»:

Начальник отдела технической поддержки (ОТП) А.В. Коченов

Начальник отдела технического контроля (ОТК) В.И. Стрелков