

УДК 629.7.052

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРИ ПУСКАХ РН «СТРЕЛА» И РАСЧЁТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ ВЫВОДИМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

© 2010 П.Я. Носатенко, А.В. Бобров, М.Л. Баранов, А.Н. Шляпников

ОАО «ВПК «НПО машиностроения», г. Реутов, Моск. обл.

В процессе эксплуатации РН «Стрела» были экспериментально определены уровни акустического воздействия на космическую головную часть и расположенную в ней полезную нагрузку при старте из шахтной пусковой установки и на участке максимального скоростного напора.

Полученные результаты измерений акустического нагружения использованы для разработки и верификации моделей космических головных частей РН «Стрела».

На основе разработанных моделей головных частей сформирована методика расчёта акустического поля, воздействующего на находящийся под обтекателем космический аппарат.

Рассмотрены вопросы расчётного моделирования реакции конструкции космического аппарата на акустическое нагружение.

Ракета носитель, нагрузка, нормирование, эксперимент, акустическое воздействие, шахтная пусковая установка, методика расчёта

Проведён сравнительный анализ реакции конструкции космического аппарата на акустическое нагружение и вибрационное нагружение с уровнями, соответствующими «Справочнику пользователя РН «Стрела». По результатам сравнительного анализа сделан вывод о том, что реакция конструкции КА на вибрационное нагружение перекрывает реакцию КА на акустическое нагружение.

1. Краткая характеристика РН «Стрела»

РН «Стрела» разработана ОАО «ВПК «НПО машиностроения» для запуска малых космических аппаратов

(МКА) на базе модернизации межконтинентальной баллистической ракеты SS-19. Особенностью РН «Стрела» является то, что она стартует из шахтной пусковой установки (ШПУ) с запуском маршевых двигателей первой ступени. На рис.1 показана ШПУ для РН «Стрела», на рис.2 РН «Стрела» в ШПУ, на рис.3 в полёте.

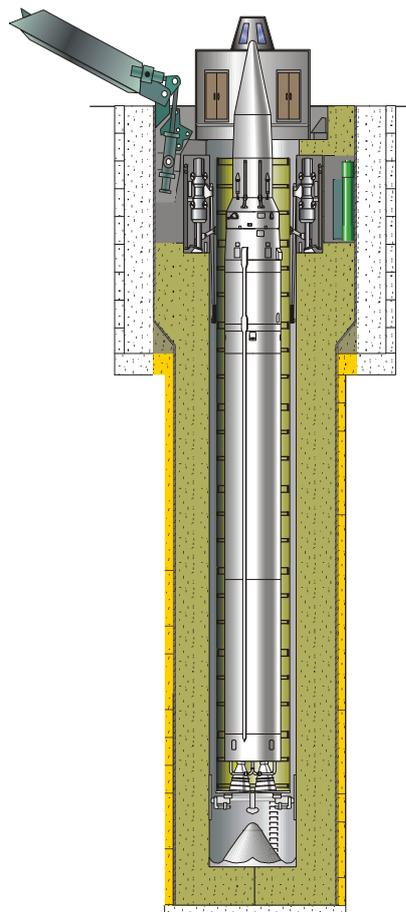


Рис. 1. ШПУ для РН «Стрела»



Рис.2 РН «Стрела» в ШПУ



Рис.3 Старт РН «Стрела»

В РН «Стрела» для запуска МКА используются в зависимости от габаритов полезной нагрузки два типа космических головных частей (КГЧ), как это показано на рис.4 и рис.5 .

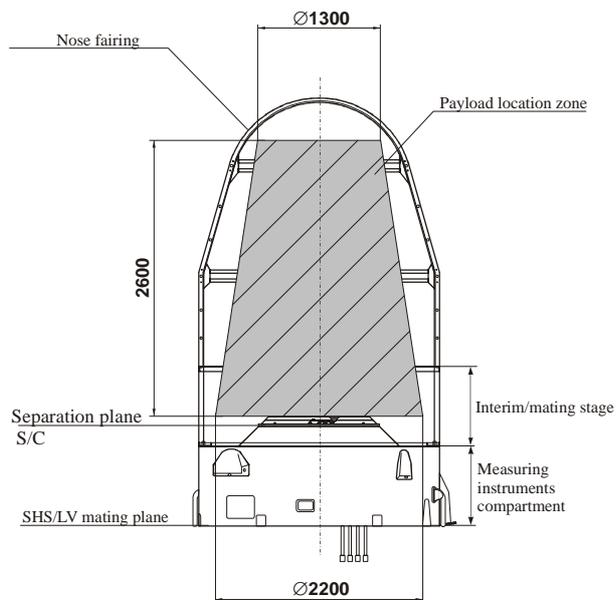


Рис. 4 КГЧ-1 для РН «Стрела»

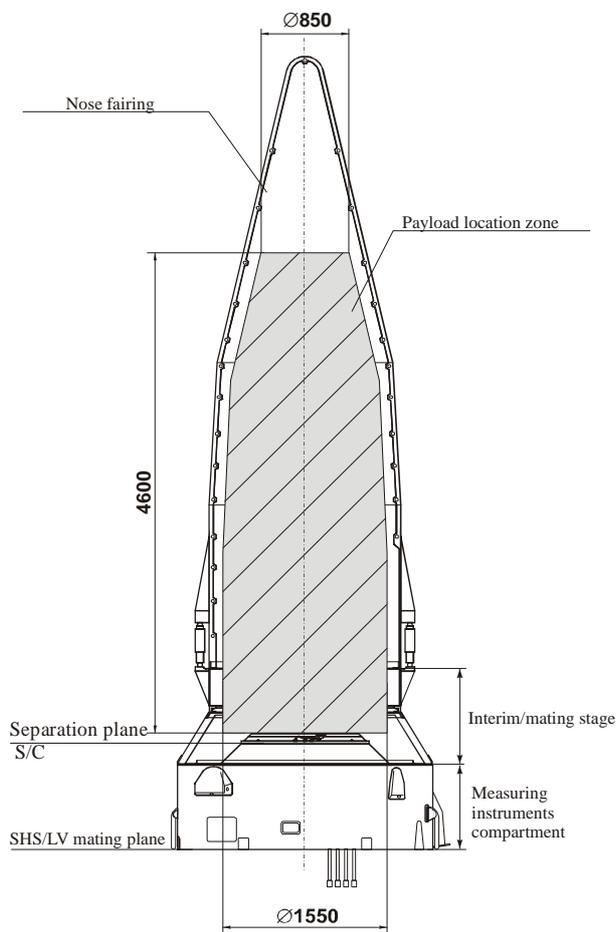


Рис.5 КГЧ-2 для РН «Стрела»

2. Экспериментальное определение акустических нагрузок на КГЧ и МКА при старте РН «Стрела» и в полёте

В процессе эксплуатации РН «Стрела» и её прототипа проводились

измерения фактических параметров акустического давления в верхней части шахтной пусковой установки, действующего на КГЧ при старте, а также акустического давления, действующего на полезную нагрузку, расположенную под головным обтекателем при старте и в полёте.

Схема установки акустических датчиков в ШПУ показана на рис.6.

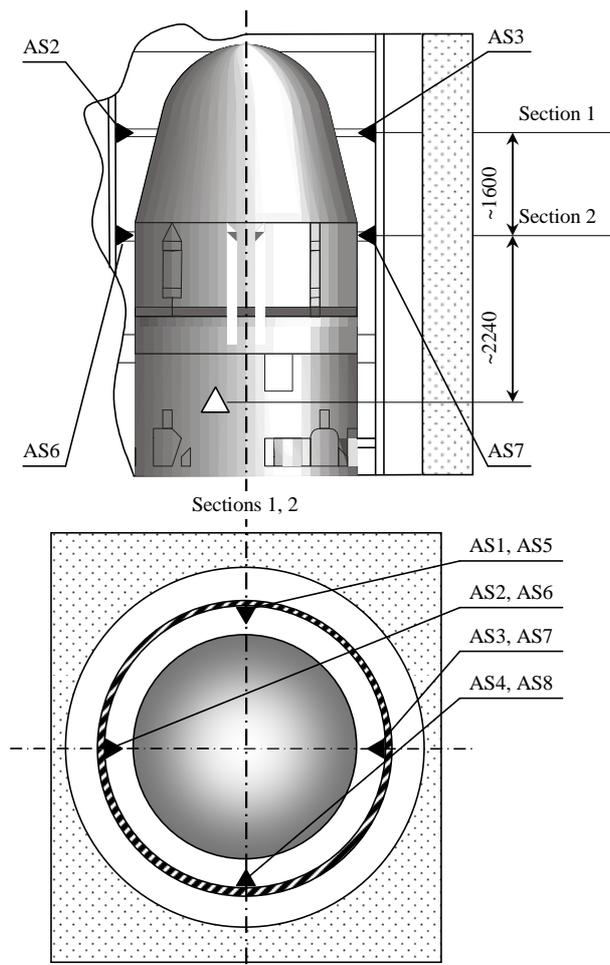


Рис.6 Схема расстановки датчиков акустического давления в ШПУ

Получены количественные значения параметров акустического давления, позволяющие судить об акустических нагрузках на КГЧ РН «Стрела» при прохождении шахтного участка. Обработка параметров акустического давления проводилась с помощью комплекта программ MATLAB. Для каждого параметра были получены уровни звукового давления в третьоктавных полосах частот, приведённые в таблице 1. Установлено,

что максимальное значение акустического давления составляет около 160 дБ на верхнем срезе ШПУ.

Таблица 1

Средняя частота 1/3 октавного диапазона, Гц	Уровень звукового давления, дБ	
	Сечение 1	Сечение 2
31.5	145	145.5
40	147.5	147
50	167	167
63	159.5	160
80	157.5	158
100	157.5	158
125	152.5	154.5
160	153	153.5
200	151	152
250	150	151.5
315	149	151.5
400	148.5	151
500	146.5	148
630	146	148
800	145	148
1000	144	148
1250	143	148
1600	143	146.5
2000	141	147

Схема размещения датчиков на полезной нагрузке, установленной в КГЧ-1, приведена на рис.7.

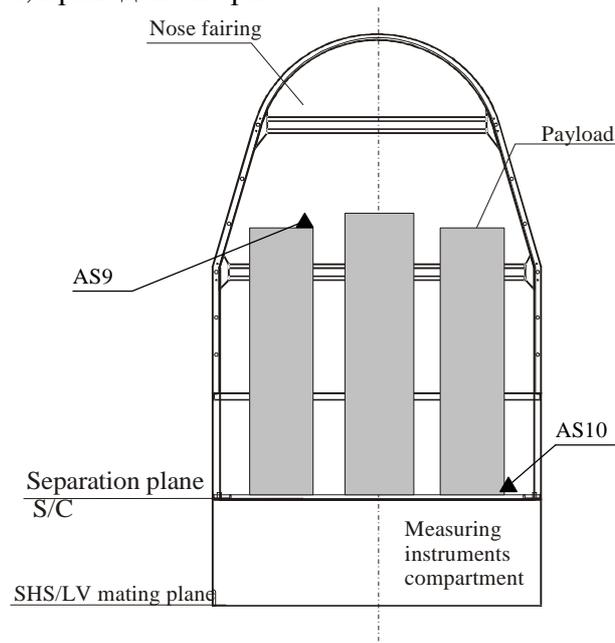


Рис. 7 Схема размещения датчиков

Был проведён статистический анализ результатов пусков РН с целью определения параметров акустического шума. Выбор для анализа участков информации с максимальными нагрузками осуществлялся по графикам огибающих максимальных нагрузок. При этом вся информация с записью показаний датчиков была разбита на интервалы, на которых процессы были стационарными или близкими к ним.

Для каждого параметра на этих временных участках были получены уровни звукового давления в третьоктавных полосах частот и вычислены суммарные уровни звукового давления.

Как видно из таблицы 2, уровни акустического давления не превышали норм на РН «Стрела» (суммарный уровень акустического давления 153 Дб).

Таблица 2

Средняя частота 1/3 октавного диапазона, Гц	Уровень звукового давления, дБ		
	Ад-1	Ад-2	Нормы
40	117.5	125.2	130
50	119.8	126.8	136
63	122.5	129.8	142
80	126	133	142
100	123	128.8	142
125	130	133.9	137
160	131.5	134.5	137
200	134.2	133.8	142
250	132.5	134.5	142
315	134.7	134.6	142
400	137.7	135.5	142
500	139.8	138.8	142
630	139.8	139.5	142
800	137	139.7	142
1000	136	140.2	142
1250	134.5	139	136
1600	132.4	137	134
2000	130	134	130
сумма	146.4	148	153

Так как наибольшие акустические нагрузки действуют на изделие при старте из ШПУ и на участке максимального скоростного напора, анализу подвергались записи с

акустических датчиков на временных интервалах $t=0 - 10$ с и $t=25 - 58$ с.

На этих временных участках были получены уровни звукового давления в третьоктавных полосах частот. Результаты обработки представлены в табл. 3.

Аналогичные измерения были проведены и для КГЧ-2 при выведении макета МКА «Кондор-Э». Сравнение уровней давления под обтекателем для КГЧ-1 и КГЧ-2 с нормативным уровнем для РН «Стрела» приведено на рис. 8 в виде огибающих уровней звукового давления в третьоктавных полосах частот при пусках РН «Стрела».

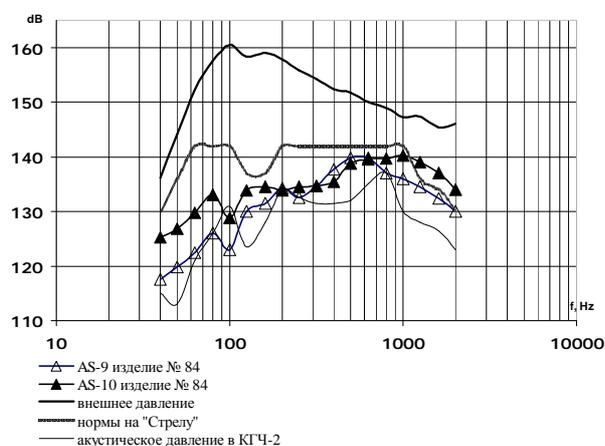


Рис. 8

Дополнительно для участка старта из ШПУ в интервале времени $t = 3,5 - 10$ с шагом 0,5 с вычислялись уровни звукового давления (с перекрытием 0,25с) для получения изменения суммарного уровня звукового давления по времени, представленного на рис. 9.

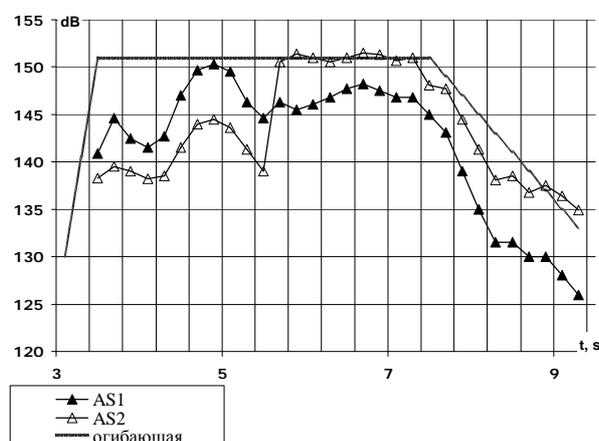


Рис. 9

Таблица 3

Средняя частота третьоктавного диапазона частот, Гц	Уровень звукового давления, дБ	
	Старт из ШПУ	Максимальный скоростной напор
31.5	130	112.2
40	129.9	113.2
50	132.8	116.4
63	139	118.3
80	134.8	115
100	139	118
125	137.2	116.2
160	137.8	119.2
200	143	118.6
250	138.3	119
315	136	119.2
400	135.8	119.5
500	138.3	121
630	139.5	122.5
800	137.9	121.9
1000	136.4	122.6
1250	133.8	122.4
1600	136.8	123
2000	134.7	126
Сумма	150.7	134.7

Акустические нагрузки на участке «q_{max}» были ниже примерно на 15-20 Дб, чем на участке старта.

3. Разработка модели для расчёта акустического нагружения МКА

Расчётная модель КГЧ-1 и КГЧ-2 (на рис. 10 представлена расчётная модель КГЧ-2) разработана по методу конечных элементов в программном комплексе MSC.Patran&Nastran. Размерность её составляет 550 тыс. степеней свободы и включает в себя другие детально проработанные расчётные модели:

- головного обтекателя;
- МКА;
- отсека измерительной аппаратуры.

Данная расчётная модель стала основой для расчёта акустического нагружения.

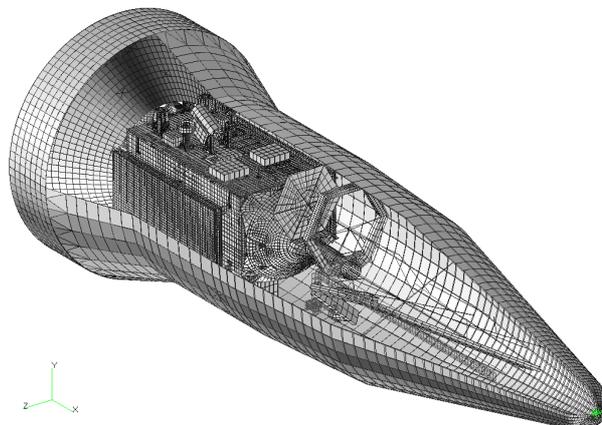


Рис.10

4. Разработка алгоритма обоснования эквивалентного вибрационного нагружения упругой силовой сотовой панели корпуса МКА с аппаратурой

Основными факторами, вызывающими вибрацию элементов конструкции и навесного приборно-агрегатного оборудования ракет-носителей, являются возбуждение, передающееся по конструкции от работающего двигателя, а также акустические воздействия от истекающих струй двигателей (главным образом, при старте) и взаимодействия изделия с набегающим потоком.

Что касается космических аппаратов, то анализ телеметрических данных по вибрациям и акустическим давлениям показал, что определяющими факторами, вызывающими вибрации элементов КА, являются акустические возмущения. При этом между характером изменения интенсивностей вибраций КА и акустическим давлением под обтекателем наблюдается полная корреляция. Первый всплеск вибрации и акустики имеет место при старте и затем в зонах "max q" (после прохождения плотных слоёв атмосферы интенсивность акустического давления резко падает, и также резко снижаются уровни вибраций в зоне КА при сохраняющихся уровнях

тяги первой ступени и возбуждении от двигателей.)

Вместе с тем, в Российской практике преимущественным методом отработки конструкций на акустические внешние воздействия являются вибрационные испытания.

Такой подход оказался приемлемым по той причине, что основным нагружающим фактором для элементов конструкции, а также приборно-агрегатного оборудования и при вибрационном и при акустическом воздействиях являются инерционные силы, возникающие в процессе колебаний конструкции. Поэтому независимо от способа возбуждения колебаний (акустическими полями или вибростендами) определяющим является воспроизведение уровней и частотного состава ускорений, возникающих при лётных испытаниях. Это означает, что для адекватной замены акустических испытаний вибрационными для элементов конструкции и приборов необходимо определить режимы виброн нагружения этих элементов от акустических воздействий и показать, что эквивалентные по уровням и спектральному составу виброрежимы могут быть созданы с использованием вибростендов.

Вибрационные испытания являются одним из важных этапов при отработке прочности и надёжности механических систем. При вибропрочностных испытаниях удаётся решить целый комплекс задач, среди которых можно отметить следующие:

а) обнаружение конструктивных недоработок в испытываемых объектах – концентраторов напряжений (незаглубленных отверстий, входящих углов, резких переходов в жесткостях и т.п.);

б) обнаружение дефектов и технологических несовершенств таких, как качество сварки и заклепок, наличие трещин, надрезов;

в) проверка функционирования отдельных узлов – раскрытия клапанов, нарушения герметичности, обнаружение

соударений, больших люфтов, развинчивания гаек, а также проверка работоспособности приборов в условиях вибраций;

г) и, наконец, обобщая первые три пункта, можно сказать, что вибрационные испытания способствуют созданию конструкции с арматурой и навесным оборудованием, стойкой к определённому уровню вибрационных воздействий.

Отсюда следует, что виброиспытания выполняют роль механического "дефектоскопа", позволяющего выявить все недоработки (как правило, в несилевых элементах конструкции) за счёт гарантированных уровней вибрационного нагружения узлов, приборов и агрегатов испытываемого объекта.

Из сказанного выше вытекает важность выработки вибрационных режимов, эквивалентных по механическому воздействию акустическим возмущениям.

Вместе с тем, полной эквивалентности по условиям нагружения всей конструкции КА при вибрационном и акустическом возбуждении добиться не удастся, так как акустика создаёт поверхностное возбуждение всех элементов КА, а вибраторы могут возбуждать конструкцию только через отдельные узлы или сечения конструкции.

Отсюда следует, что при проведении испытаний при помощи вибростендов необходимо добиться того, чтобы уровни вибраций и их спектральный состав соответствовали вибрациям, возбуждаемым акустическим путём, по основным наиболее ответственным элементам конструкции, а также узлам подвески приборов и агрегатов КА.

На основе проведения расчётов полей ускорений конструкции КА от акустических воздействий устанавливаются спектры виброн нагружения узлов крепления аппаратуры и различных подсистем КА, которые должны воспроизводиться в

процессе виброиспытаний КА, либо автономных испытаниях отдельных приборов.

Вкратце алгоритмическая схема обоснования вибрационного нагружения эквивалентного акустическому заключалась в следующем. Для расчета спектров виброн нагружения элементов конструкции и узлов крепления приборов и агрегатов от акустического воздействия использовался аппарат спектрально-корреляционных представлений. В результате расчётов получены спектральные плотности виброускорений для наиболее ответственных узлов и элементов конструкции, которые должны воспроизводиться при вибрационных испытаниях.

Затем проводился расчёт виброускорений тех же узлов и элементов конструкции при кинематическом возбуждении панели путём задания спектральной плотности ускорений по узлам крепления панели к оснастке вибростенда. Кинематическое возбуждение осуществлялось по 3-м осям независимо, путём коррекции виброрежимов от начальных значений, приведённых в «Справочнике пользователя РН «Стрела».

5. Разработка расчётной модели силовой сотовой панели корпуса МКА с аппаратурой

Силовая сотовая панель корпуса МКА трёхслойная со строительной высотой 18мм. Верхний и нижний слои – листы из алюминиевого сплава толщиной 0.4 мм. Средний слой – сотовый наполнитель из фольги алюминиевого сплава толщиной 0.03 мм, с размером ячеек 6 мм. Панель является несущим элементом корпуса. Кроме силового назначения, на неё возложены функции по отводу тепла от размещаемых на ней приборов. Теплоотводящая жидкость циркулирует по теплопроводящим трубам, размещённым внутри сотового наполнителя.

Модель панели составлялась из конечных элементов типа "многослойная

оболочка", состоящая из трёх слоёв (2-х силовых обшивок и сотового наполнителя), где верхний и нижний слои состоят из изотропного материала, а средний слой представляет собой ортотропный материал с приведёнными жесткостными характеристиками. Теплообменные трубы описывались балочными конечными элементами, жёстко связанными с многослойной оболочкой. Приборы и оборудование, размещённое на панели, моделировались с помощью пластин, балок и 3-х мерных элементов.

Конечноэлементная модель панели с приборами была представлена в формате MSC/NASTRAN. Размерность модели 1400 узлов и 1800 конечных элементов.

На рисунках 11 и 12 представлены типовые результаты расчёта собственных частот и форм колебаний панели с аппаратурой.

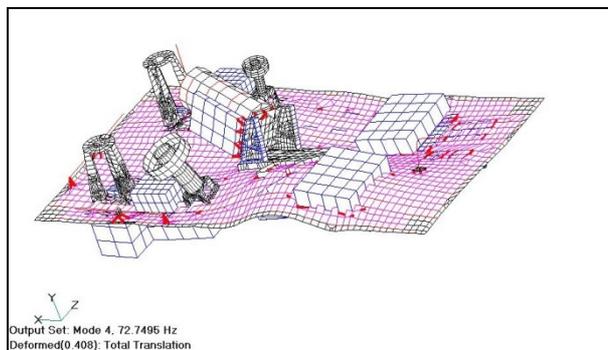


Рис. 11

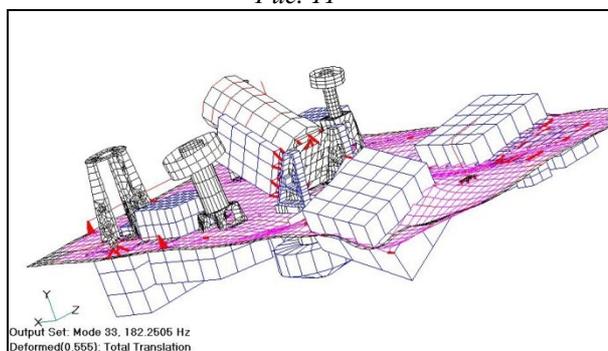


Рис. 12

6. Разработка модели внешнего нагружения панели корпуса МКА с аппаратурой

На основании экспериментальных данных были определены расчётные уровни акустического давления на поверхность силовой сотовой панели.

Для проведения расчётов внешняя нагрузка принимается в виде случайного давления, распределённого по поверхности панели и по поверхностям приборов, расположенным снаружи корпуса КА. Давление задаётся спектральной плотностью, соответствующей квалификационному нормативному уровню [1]:

- при старте (сумма 153дБ),
- при полёте в плотных слоях атмосферы (сумма 144дБ).

Величины спектральной плотности давления в 1/3 октавных диапазонах представлены в таблице 4.

Таблица 4

Центральная частота, Гц	СПМ давления, Па ² /Гц	
	Старт (153дБ)	Max Q (144дБ)
40	444.4	140.5
50	1592.4	400.0
63	4226.4	266.7
80	3169.8	200.0
100	2756.3	173.9
125	716.0	142.9
160	501.2	100.0
200	1408.8	140.9
250	1132.1	113.2
315	856.7	107.9
400	674.4	84.9
500	542.0	68.2
630	430.2	54.2
800	341.4	43.0
1000	271.0	34.1
1250	54.0	21.5
1600	27.1	13.6
2000	8.5	8.5

В силу отсутствия информации по степени скоррелированности акустических воздействий на панель был проведён оценочный анализ влияния корреляционных характеристик на

средне-квадратичные значения (СКЗ) виброускорений узлов конструкции.

7. Проведение расчётов в обоснование режимов эквивалентных вибрационных испытаний при наземной отработке для подтверждения динамической прочности КГЧ с МКА при выведении РН «Стрела»

Расчёты динамического нагружения от звукового давления и от кинематически задаваемой случайной вибрации проводились с помощью программного комплекса MSC.NASTRAN v.70.5 методом разложения по тонам в диапазоне от 20 до 2000 Гц. Обработка полученных результатов велась с помощью программы MATLAB v.6.1.

Расчёты проводились для 2-х вариантов диссипативных характеристик. Они представлены в таблице 5. Между узловыми частотами – линейная интерполяция.

Таблица 5

Частота, Гц	Диссипативные характеристики (% критического демпф.)	
	Вариант 1	Вариант 2
20	1	2
100	1	2
800	3	5
2000	5	8

Анализировались линейные перегрузки узлов панели и приборов. Сопоставление отклика проводилось по 3-м группам:

- перегрузки свободных узлов панели,
- перегрузки узлов крепления,
- перегрузки узлов приборов.

7.1 Расчёты нагрузок от акустического воздействия при старте РН

Результаты расчётов в виде уровней среднеквадратичных величин перегрузок

в 1/3 октавных диапазонах представлены на рисунке 13.

Следует отметить, что наивысшие перегрузки среди узлов крепления наблюдаются у лёгкого прибора массой 0.1кг. Они превосходят 20g при заданном низком уровне демпфирования; свободные узлы панели имеют те же уровни перегрузок. СКЗ перегрузок в 1/3 октавных диапазонах для узлов крепления других приборов не превышают 10g.

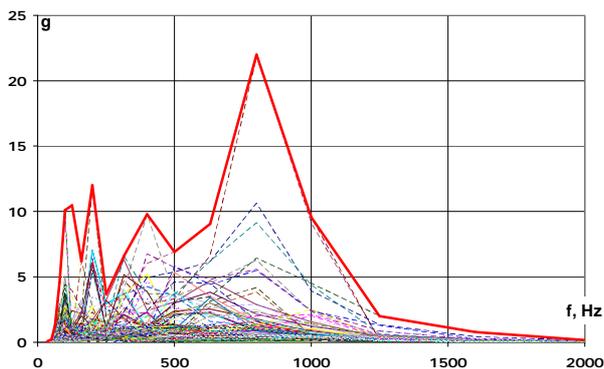


Рис. 13

7.2 Расчёты нагрузок от акустического воздействия при полёте в плотных слоях атмосферы

Результаты расчётов в виде уровней среднеквадратичных величин перегрузок в 1/3 октавных диапазонах представлены на рисунке 14.

Как и следовало ожидать, величины перегрузок узлов конструкции существенно ниже, чем при старте - примерно в 3 раза.

Наивысшие перегрузки среди узлов крепления наблюдаются, как и в случае «Старт» у лёгкого прибора. Они превосходят 7g при заданном низком уровне демпфирования. Те же уровни перегрузок имеют свободные узлы панели. СКЗ перегрузок в 1/3 октавных диапазонах для узлов крепления других приборов не превышают 3g.

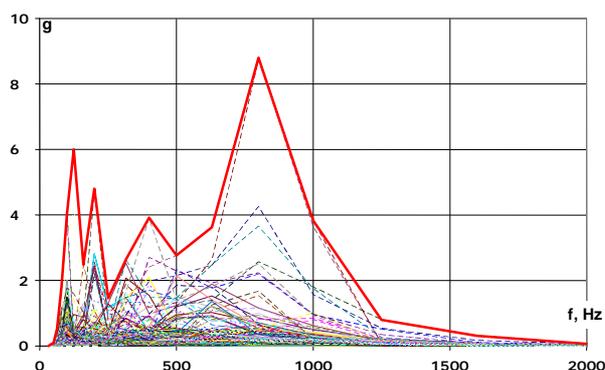


Рис. 14

8. Установление режимов эквивалентных вибрационных испытаний при наземной экспериментальной отработке для подтверждения динамической прочности КГЧ с МКА при выведении РН «Стрела»

8.1 Критерий эквивалентности

В качестве эквивалентного вибрационного нагружения панели с приборами будем рассматривать кинематическое возбуждение, удовлетворяющее следующим условиям.

Максимальная перегрузка каждого узла по любому из 3-х направлений во всех 1/3-октавных диапазонах, реализовавшаяся в 3-х испытаниях на случайную вибрацию, превосходит эту же перегрузку при акустическом воздействии. Допускается невыполнение этого требования в одном - двух диапазонах, если разница мала и если во всём частотном диапазоне до 2000Гц СКЗ перегрузки от вибрационного воздействия выше, чем от акустического.

Для решения этой задачи были проведены расчёты виброускорений узлов панели с приборами для 2-х вариантов демпфирования. Внешнее воздействие задавалось в виде ускорения точек закрепления панели по 3-м осям последовательно. Что касается спектральной плотности мощности виброускорения, то по осям X и Z, лежащим в плоскости панели, она задавалась равной квалификационному уровню отработки [1] с суммарным СКЗ, равным 6.7g.

8.2 Расчёты нагрузок от эквивалентного вибрационного воздействия квалификационного уровня

Квалификационный уровень виброускорений, одинаковый по всем осям, приведён в таблице 6.

Таблица 6.

Диапазон, Гц	СПМ виброускорения, $g^2/Гц$
20-90	0.019
90-180	0.019-0.036
180-400	0.036
400-2000	0.036-0.014
Суммарное СКЗ	6.7 g

На рисунке 15 показаны результаты расчётов виброускорений для модели панели, а на рисунке 16 представлена разность между откликом на акустическое воздействие и максимальным (среди 3-х направлений) откликом на вибрационное воздействие.

Сопоставление уровней отклика от акустики при «старте» и отклика при квалификационной случайной вибрации говорит о практически полном перекрытии «акустики» «вибрацией». Для диссипативных характеристик модели, принятых по 2-му варианту - по нашему опыту более адекватно описывающих демпфирование в реальной конструкции, - квалификационный уровень из [1] эквивалентен акустическому нагружению.

Акустическое нагружение при «тахq» существенно ниже, чем при «старте». Результаты расчета показывают полное перекрытие «акустики» «вибрацией» во всех частотных диапазонах.

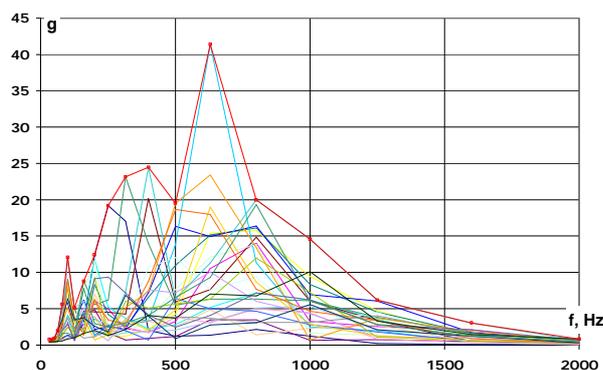


Рис. 15

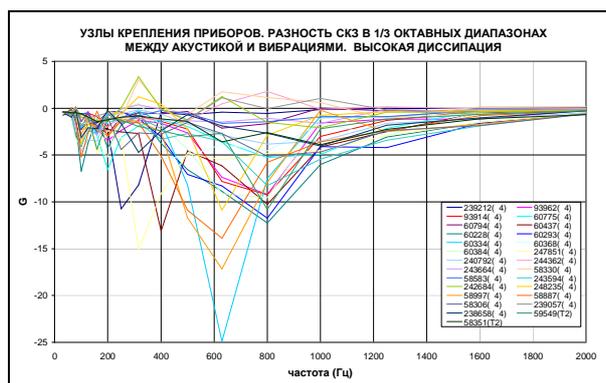


Рис. 16

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Получены экспериментальные данные по акустическому нагружению КГЧ в шахте и МКА под обтекателем.
2. Разработан алгоритм определения вибрационного нагружения сотовой панели корпуса изделия с аппаратурой, эквивалентного акустическому. В основу его положен тот факт, что главным нагружающим параметром для приборного оборудования являются инерционные силы, возникающие в процессе колебаний. Поэтому независимо от способа возбуждения – акустического или вибрационного – определяющим является воспроизведение уровней и частотного состава ускорений оборудования, возникающих при лётных испытаниях. Для адекватной замены акустических испытаний вибрационными предварительно определяются режимы нагружения аппаратуры и узлов её подвески от акустических воздействий. Затем решается задача о кинематическом возбуждении объекта и путём

минимизации расхождения между спектральными плотностями выхода от акустического и вибрационного нагружения устанавливается спектральная плотность входного кинематического возбуждения объекта при вибрационных испытаниях.

3. Проведена верификация конечно-элементной модели панели с аппаратурой и определены её инерционные свойства. Выполнен расчёт собственных частот и форм колебаний.

4. Проведены расчёты акустического нагружения модели панели с аппаратурой в случаях "старта" и "*max q*". При этом рассматривались два варианта диссипативных характеристик модели, отличающихся по уровню демпфирования в 1.5 – 2 раза в зависимости от частотного диапазона. Проведены расчёты нагружения панели случайной вибрацией. При этом вибрации задавались кинематическим путём по местам крепления панели и удовлетворяли следующим условиям.

Максимальная перегрузка каждого узла по любому из 3-х направлений во всех 1/3-октавных диапазонах, реализовавшаяся в 3-х испытаниях на случайную вибрацию, превосходит эту же перегрузку при акустическом воздействии. Допускается невыполнение этого требования в одном – двух

диапазонах, если разница мала и если во всём частотном диапазоне до 2000Гц СКЗ перегрузки от вибрационного воздействия выше, чем от акустического.

Акустическое нагружение при «*maxq*» существенно ниже, чем при «старте». Результаты расчётов показывают полное перекрытие «акустики» «вибрацией» во всех частотных диапазонах и для всех узлов и элементов панели с аппаратурой.

5. Учитывая это, можно заключить, что отработка конструкции на вибрационное воздействие квалификационного уровня и длительности из "Справочника пользователя" может одновременно считаться зачётной и для акустической отработки.

Библиографический список

1. Космический ракетный комплекс «Стрела». Справочник пользователя (2-я редакция). 1999г.
2. Equivalent modes for spacecraft vibroacoustic verification tests/ Nosatenko P.Ya, Nikitenko V.I., Bobrov A.V., Vvtdensky N.I., Likhoded A.I. Third International Symposium on Environmental Testing for Space Programmes, ESTEC Noordwijk, The Netherlands, 25-27 June 1997, SP-408.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF ACOUSTIC LOADS DAUNCHES OF STRELA LV AND CALCULATION OF TEST MODES FOR A SPACECRAFT TO BE DELIVERED BY IT TO SPACE

© 2010 P.Y. Nosatenko, A.V.Bobrov, M.L.Baranov, A.N.Shlyapnikov

FSUE "NPO Mashinostroyenia", Reutov-town, Moscow region.

During operation of Strela LV the levels of acoustic loads, affecting the LV head section and payload accommodated inside, have been experimentally determined when launching LV out of the silo and in the phase of maximum dynamic pressure.

The results of acoustic loads measurements were used for generation and verification of Strela LV head sections models.

These models became the basis of procedure for calculation of the acoustic field affecting a spacecraft accommodated under the LV fairing.

The report studies the problems of simulating the spacecraft structure reaction to acoustic loads.

Comparative analysis has been carried out for the spacecraft reaction to acoustic and vibration loads at the levels corresponding to «Strela LV user manual». Based upon the results of comparative analysis the conclusion was made that the spacecraft structure reaction to vibration loads prevails over its reaction to acoustic loads.

Launch vehicle, loading, normalization, experiment, acoustic influence, launch facility, design procedure

Информация об авторах

Носатенко Петр Яковлевич, Первый заместитель Генерального директора ОАО "ВПК "НПО машиностроения", доктор физико-математических наук

Бобров Александр Викторович, начальник отделения ОАО "ВПК "НПО машиностроения"

Баранов Михаил Леонидович, Заместитель начальника отделения ОАО "ВПК "НПО машиностроения"

Шляпников Антон Николаевич, начальник отдела ОАО "ВПК "НПО машиностроения"

Nosatenko Petr Yakovlevich, First Deputy Director General JSC "MIC "NPO Mashinostroyenia", doktor

Bobrov Aleksander Viktorovich, Head department JSC "MIC "NPO Mashinostroyenia"

Baranov Mikhail Leonidovich, Deputy Head department JSC "MIC "NPO Mashinostroyenia"

Shlyapnikov Anton Nikolaevich, Chief JSC "MIC "NPO Mashinostroyenia"