

Пересыпкин К.В., Агарков В.Ф., Ткаченко С.И.

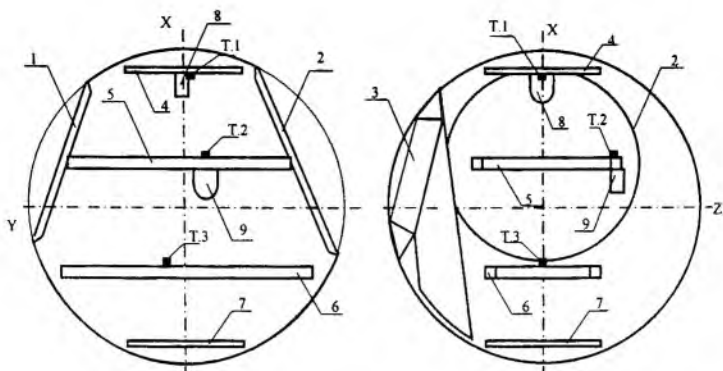
АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВИБРАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ КОНСТРУКЦИИ СПУСКАЕМОГО АППАРАТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «ФОТОН»

Проведение ряда экспериментов и технологических процессов на борту космического аппарата (КА) на орбитальном участке полета требует низкого уровня ускорений. Причиной возникновения малых по величине ускорений (микроускорений) на борту КА могут быть, в числе прочих, вибрации его конструкции, обусловленные работой таких агрегатов, как вентиляторы, насосы системы терморегулирования и т.д. Такие источники вибрации могут возбуждать колебания конструкции с частотами до 300 Гц и выше. Поэтому при проектировании КА необходимо исследовать микроускорения в заданных точках конструкции.

Моделирование вибраций конструкции КА, обусловленных вращающимися роторами агрегатов, проводилось в работах [1] и [2] с помощью метода конечных элементов. В этих работах применялись алгоритмы частотного анализа и анализа переходных процессов в линейной постановке. Под линейной постановкой понимается независимость жесткости, инерционных характеристик и характеристик демпфирования конструкции от деформаций конструкции. В данных работах моделирование вибраций осуществлялось в диапазоне от 0 до 300...400 Гц.

Допущение о линейной работе конструкции КА при колебаниях с малыми амплитудами требует обоснования. Для того, чтобы убедиться в адекватности линейной модели, были проведены вибрационные испытания спускаемого аппарата КА «Фотон» (СА) без научной аппаратуры и оборудования. СА вывешивался на специальной подвеске, обладающей низкой жесткостью и большим демпфированием для обеспечения виброизоляции. Собственная частота колебаний СА на подвеске равна 1 Гц. В ходе испытаний к конструкции прикладывалось гармоническое возбуждение, производимое вращающимся эксцентриком. В качестве источника возбуждения использовался вентилятор системы охлаждения КА «Фотон». Для создания гармонической нагрузки на конструкцию СА к одной из лопастей вентилятора была прикреплена разбалансировочная масса. Измерения проводились с помощью частотного анализатора 2031 Брюльи Кьер.

Схематическое изображение конструкции СА и положение точек, в которых прикладывалось возбуждение и производилось измерение ускорений, показано на рисунке 1.



1-лок №1, 2-лок №2, 3-лок №3; 4-верхняя плита; 5-верхняя рама; 6-нижняя рама; 7-нижняя плита; 8 - источник вибраций, установленный в точке 1, 9 - источник вибраций, установленный в точке 2; Т.1, Т.2 и Т.3 - точки 1, 2 и 3

Рисунок 1. Схема экспериментальной установки

Первым результатом испытаний являются зависимости амплитуды ускорения точки 3 от амплитуды возбуждающей силы в точке 2 при неизменной частоте возбуждения 53,75 Гц (рисунок 2). Возбуждение в точке 2 прикладывалось в плоскости XY (плоскость вращения силы, обусловленной эксцентриком). Точки графиков на рисунке 2 при нулевой величине силы соответствуют вибрациям, вызванным вентилятором без разбалансировочной массы. Если исключить эти точки, рассматриваемые зависимости можно считать линейными. Таким образом, эксперимент не выявил нелинейности в поведении конструкции при ускорениях порядка 10^{-2} м/с^2 . Меньшие амплитуды возбуждения на данном источнике вибраций создать не удалось.

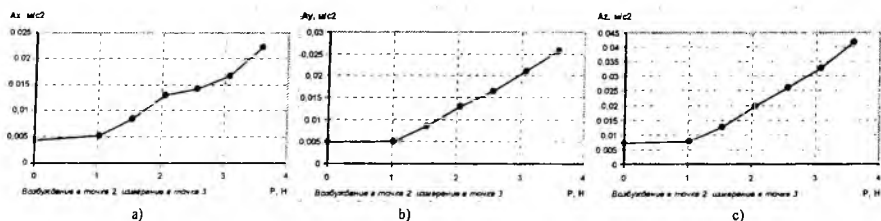
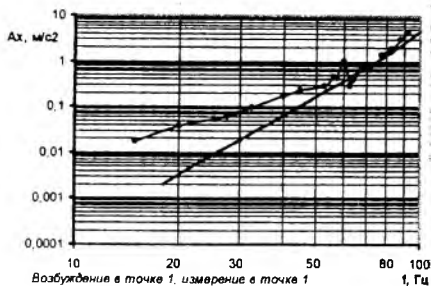
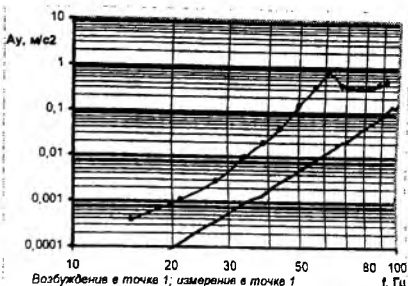


Рисунок 2. Зависимость ускорения точки 3 от амплитуды возбуждения в точке 2: а) X-составляющая ускорения; б) Y-составляющая ускорения; в) Z-составляющая ускорения

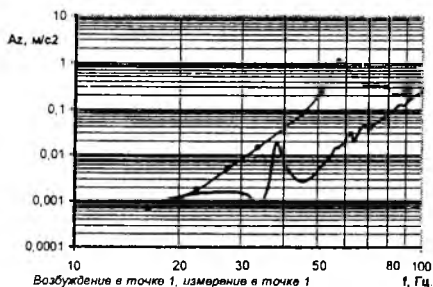
Вторым результатом испытаний являются амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) в точках 1 и 3 от возбуждения в точке 1 в диапазоне частот 20-90 Гц (рисунки 3 и 4). Эти АЧХ получены для сравнения с аналогичными АЧХ, полученными из конечно-элементного расчета. При снятии АЧХ возбуждение в точке 1 прикладывалось в плоскости XZ (плоскость вращения силы обусловленной эксцентриком).



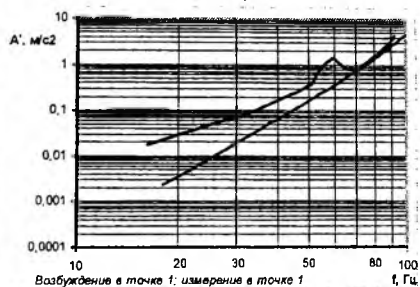
a)



b)



c)



d)

черная линия – экспериментальные АЧХ; серая линия – АЧХ, полученные в конечно-элементном расчете
 Рисунок 3. Зависимость ускорения точки I от частоты возбуждения в точке I. а) X-составляющая ускорения; б) Y-составляющая ускорения; в) Z-составляющая ускорения; д) верхняя оценка амплитуды ускорения

Как можно видеть из рисунков 3а, 3б, 3с и 4а, 4б, 4с, расчетные и экспериментальные АЧХ не совпадают. Однако большое несовпадение наблюдается на графиках, изображающих АЧХ для относительно малых составляющих ускорения (рисунки 3б, 3с, 4б). Очевидно, что эти малые составляющие ускорения при испытаниях были замерены с низкой точностью и слабо влияют на максимальное значение ускорения в рассматриваемой точке. Для того, чтобы исключить влияние этих малых составляющих из рассмотрения при сравнении экспериментальных и расчетных АЧХ, введем величину A' , вычисляемую по формуле

$$A' = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}, \text{ где } A_x, A_y \text{ и } A_z - \text{амплитуды компонент ускорения. Величину } A' \text{ можно рас-}$$

считывать как верхнюю оценку амплитуды ускорения, потому что колебания вдоль разных осей могут происходить с разными фазовыми сдвигами. Расчетные зависимости величины A' (рисунки 3д, 4д) имеют тот же порядок, что и экспериментальные. На ранних стадиях проектирования КА такие расчеты позволяют решать вопросы проектирования виброизоляции экспериментальных и технологических установок, не дожидаясь проведения натурных испытаний.

Неполное совпадение экспериментальных и расчетных данных показывает, что исследование по адекватности конечно-элементного моделирования должны продолжаться. При этом должна повышаться как точность моделирования, так и точность эксперимента.

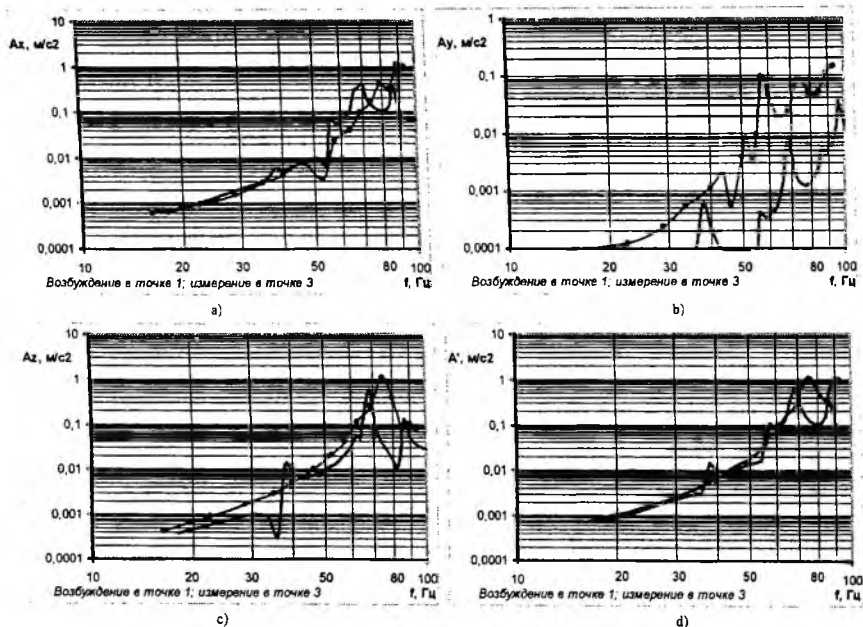


Рисунок 4. Зависимость ускорения точки 3 от частоты возбуждения в точке 1. а) X-составляющая ускорения; б) Y-составляющая ускорения; в) Z-составляющая ускорения; д) верхняя оценка амплитуды ускорения

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пересыпкин К.В. Исследование высокочастотных колебаний аппаратуры изделия под воздействием нагрузки, переменной во времени. //Сб. трудов. XVI конференции молодых ученых., РКК "Энергия" им. Королева, 2002.
2. V.F.Agarkov, K. V.Peresypkin, M.A.Petrovitchev A method of simulation of microacceleration field from vibration source in microgravitational space platform. // Proceedings of International Conference "Scientific and Technological Experiments on Russian Foton/Bion Recoverable Satellites: Results, Problems and Outlooks". – Russian Federation, Samara 2000, с. 300-307.