

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Д. А. Голушко

Введение

В настоящее время к параметрам надежности изделий военного назначения (ИВН) предъявляются высочайшие требования. Поэтому в процессе разработки и производства все технические системы (ТС) ИВН подвергаются различным видам испытаний на воздействие внешних факторов (ВВФ) в соответствии с требованиями российских комплексов государственных военных стандартов «Мороз-6» и «Климат-7».

Механические воздействия являются одним из важнейших дестабилизирующих факторов, приводящих к отказам изделий. По данным стендовых испытаний космического корабля «Аполлон», 43,8 % отказов вызваны вибрационными воздействиями, 4 % – ударными, 0,1 % – статическими силовыми воздействиями при ротационных испытаниях [1]. В связи с этим предусматривается обязательное проведение лабораторно-стендовых испытаний на воздействие вибрации с помощью специальных методов и средств испытаний, одним из главных основополагающих принципов которых является принцип эквивалентности испытательных режимов режимам эксплуатации [2].

1. Организация эксперимента по исследованию частотного спектра механических колебаний сложных технических систем

Для получения информации о воздействии вибрации в процессе испытаний используют виброизмерительные преобразователи (ВИП), размещаемые в контрольных точках (КТ). Сигнал с ВИП в КТ используется в системе управления, обеспечивающей стабилизацию передаточной функции вибратора. КТ располагается на поверхности объекта испытания. Задание ускоренного движения для одной КТ достаточно в случае прямолинейной траектории движения контура крепления ТС как абсолютно твердого тела. Однако в большинстве случаев движение не является прямолинейным. Поэтому вибрационные воздействия, передаваемые в ИВН от контура крепления ИИ, необходимо делить на две составляющие: инерционное воздействие, характеризующее движение контура с ИВН как целого (абсолютно твердого тела), и деформационное воздействие, возникающее вследствие упругих деформаций контура.

При одинаковых уровнях виброускорений в КТ движения точек крепления при инерционном и деформационном воздействии существенно различны. В верхнем поддиапазоне появляются новые динамические явления, связанные с упругими деформациями контура крепления ТС. В этом случае, кроме инерциального воздействия, ТС подвергается деформационному воздействию, при котором точки крепления могут совершать противофазные упругие перемещения [1, 3].

Для исследования деформационного воздействия необходимо предварительно определить рабочий частотный диапазон объекта оснащения испытуемого изделия. Исследование спектра частот колебаний ИВН на гусеничных шасси и влияния деформационной составляющей проводилось на ЭВМ с использованием акселерометра ADXL321 (рис. 1).

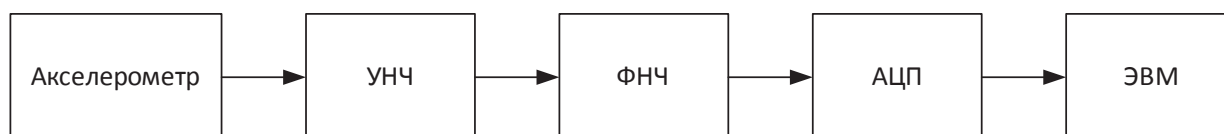


Рис. 1. Структурная схема для исследования акселерограмм

Акселерометр ADXL321 имеет полосу частот от 0,5 Гц до 2,5 кГц, поэтому диапазон сигнала ограничен ФНЧ Бесселя 6-го порядка с частотой среза 2,5 кГц. УНЧ используется для согласования уровней акселерометра и АЦП АК5385А.

2. Исследование верхнего диапазона частотного спектра

Измерение проводилось в крепежной бонке изделия на базе БМП-3 в движении по грунтовой дороге в течение 10 мин. На рис. 2 представлен измеренный спектр частот при использовании оконной функции Хамминга.

Согласно ГОСТ 306.1.1–99 испытания методом 100–1 проводят в диапазоне частот $0,2f_{кр} - 1,5f_{кр}$, но не выше 20 кГц, где $f_{кр}$ – критическая частота изделия. Критическая частота – частота, на которой в зависимости от уровня вибрации появляется эффект неправильного функционирования образца или ухудшение его эксплуатационных характеристик или наблюдаются механические резонансы или другие эффекты, связанные с вибрацией, например дребезжание [4].

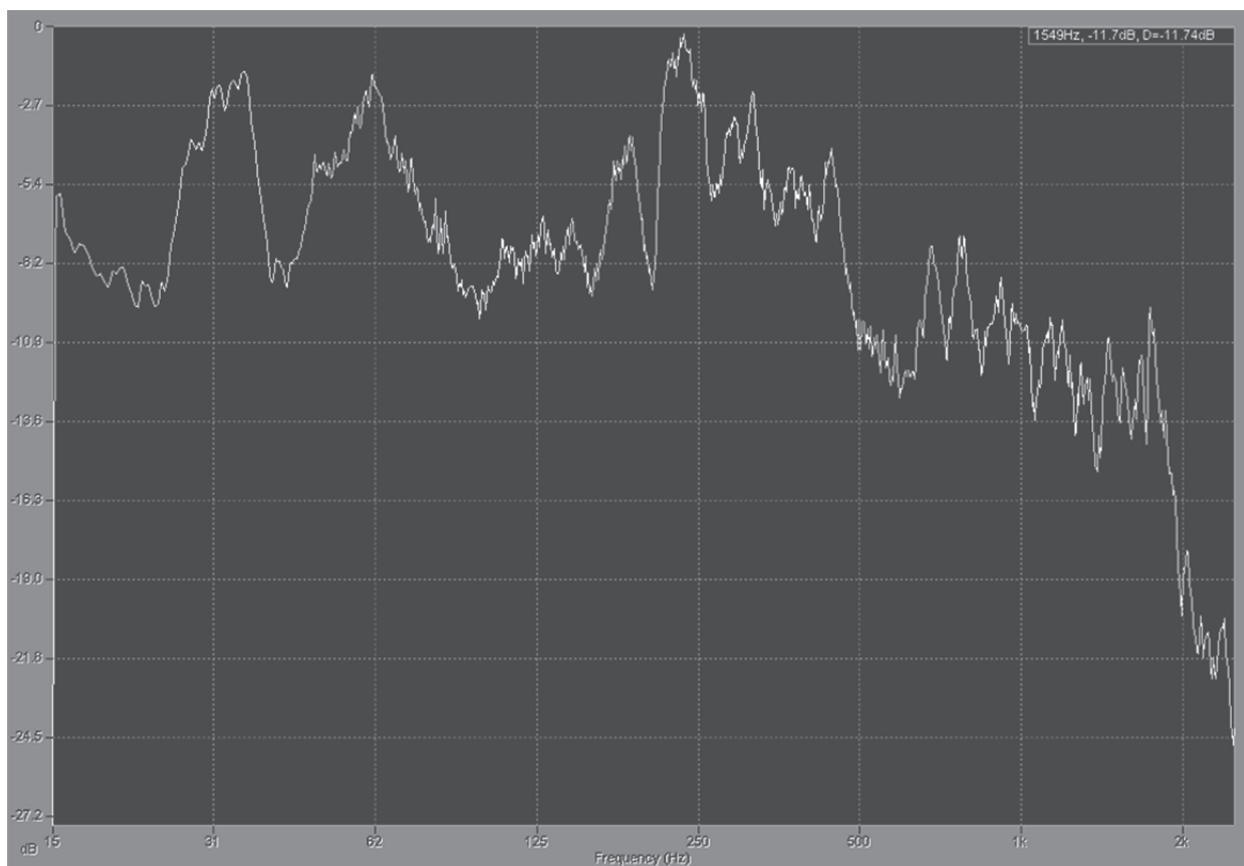


Рис. 2. Спектр частот колебаний технических средств военного назначения на гусеничных шасси

При проведении испытаний методом 100–4 верхняя граничная частота ограничена 2000 Гц. На рис. 2 показан рабочий диапазон вибраций объекта оснащения, который согласно принципу максимальной эквивалентности испытательных режимов должен соответствовать диапазону частот испытаний. Таким образом, целесообразно ограничить частотный диапазон исследования деформационной составляющей реальной акселерограммы двух точек крепления частотой 2 кГц. На рис. 3 и 4 представлены акселерограммы, измеренные двумя датчиками, закрепленными на крепежных бонках, расположенных на расстоянии 8 и 26 см соответственно.

На рис. 3 видно, что сигналы практически идентичны, в то время как на рис. 4 наблюдаются участки с противофазным движением точек крепления (5.14.387 – 5.14.388), что указывает на наличие деформационной составляющей вибрационного воздействия.

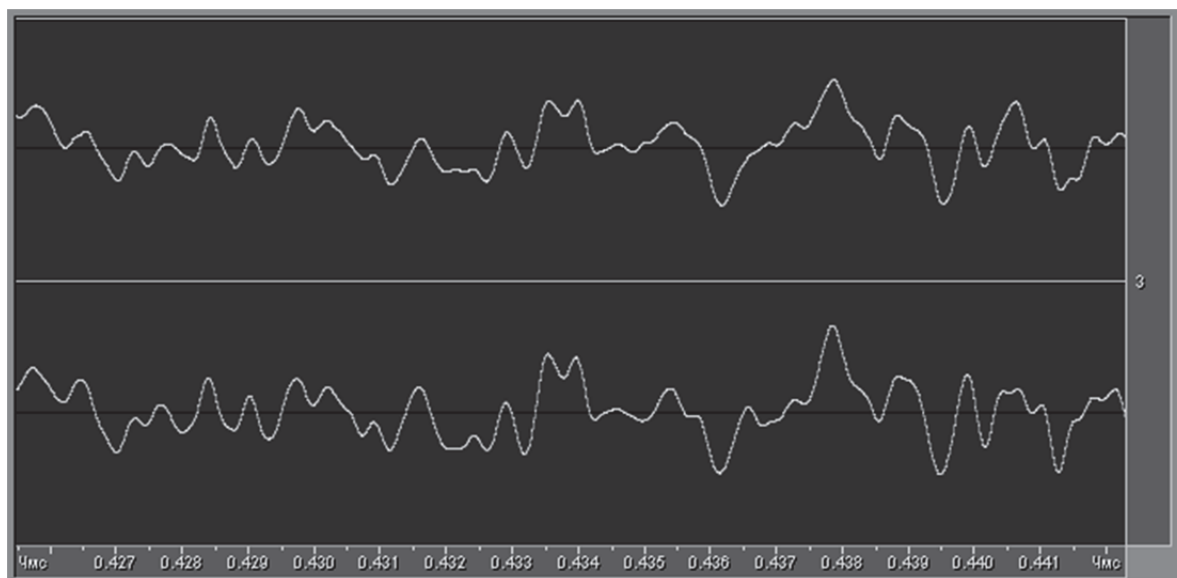


Рис. 3. Акселерограммы двух точек крепления на расстоянии 8 см

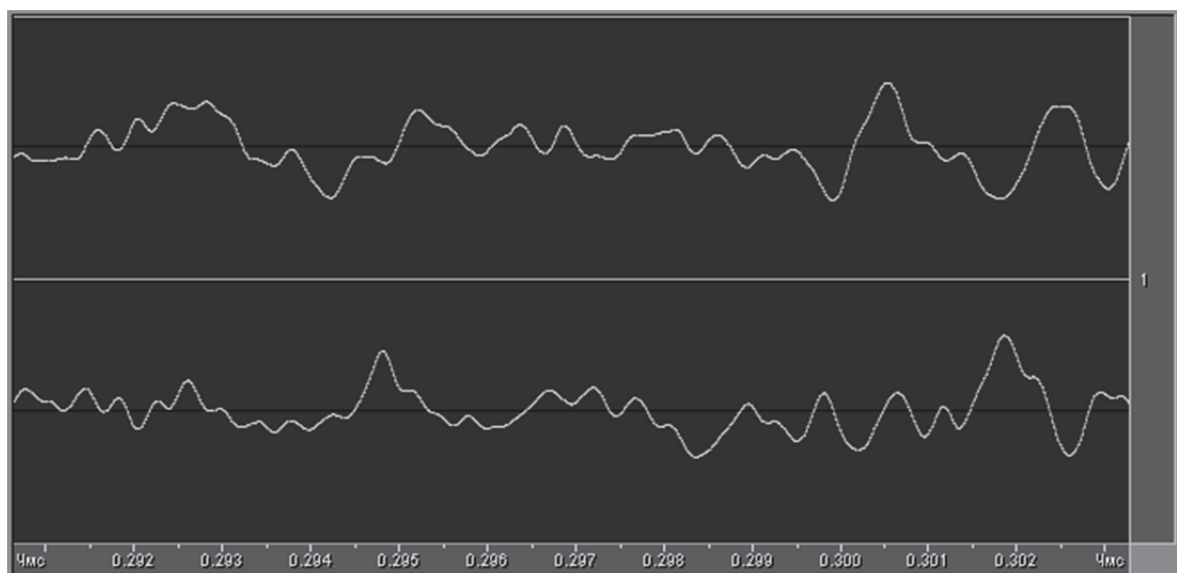


Рис. 4. Акселерограммы двух точек крепления на расстоянии 26 см

3. Исследование верхнего диапазона частотного спектра

При воздействии удаленного источника вибрации на исследуемый объект посредством крепежных элементов разность фаз в двух противоположных точках крепления на частоте 2 кГц может достигать 90° [3, 5, 6]. К верхнему поддиапазону относится та часть рабочего диапазона вибрации (5–2000 Гц), в которой упругие смещения контура крепления ТС имеют тот же порядок, что и амплитуды возбуждаемой вибрации [1]. Однако результаты проведенного эксперимента указывают на то, что даже на частоте 500 Гц являются существенными смещения, вызванные динамическими деформациями контура крепления ТС. На рис. 5 показаны акселерограммы двух точек крепления на расстоянии 26 см после обработки цифровым фильтром НЧ с частотой среза 500 Гц.

Если среда распространения вибрации не однородна, а представляет собой составную конструкцию, в которой стыкуемые поверхности соприкасаются друг с другом под разными углами, источников вибрации несколько (гусеницы, двигатель, трансмиссия) и направления распространения волн от них различны – в отдельные моменты времени точки крепления могут перемещаться противофазно даже в низкочастотном поддиапазоне.

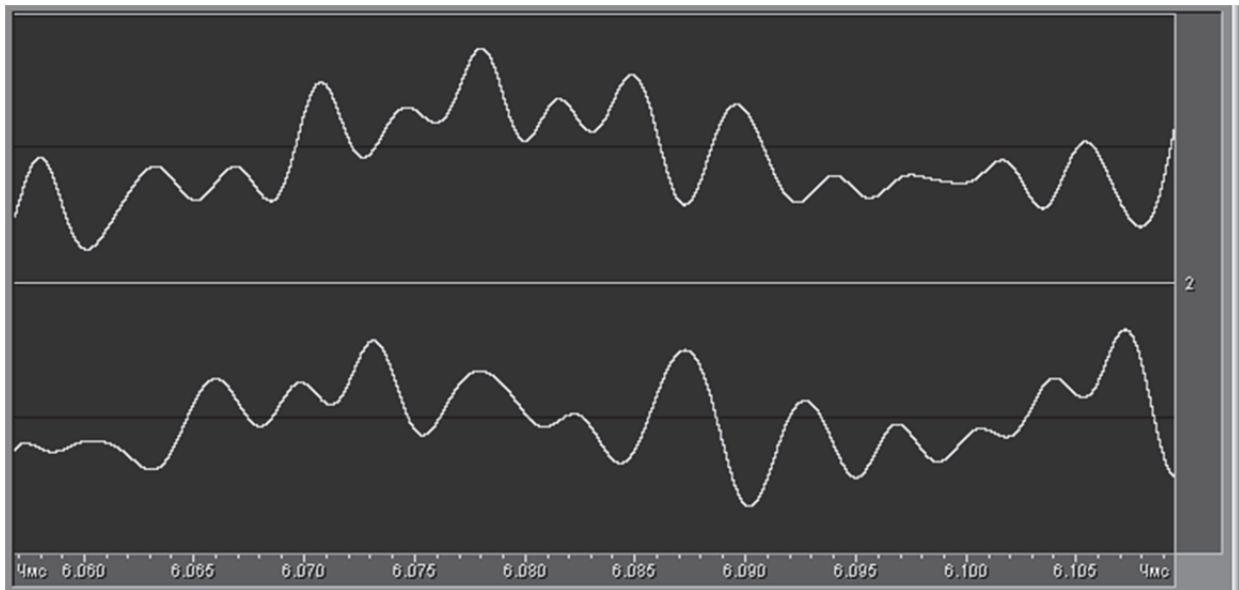


Рис. 5. Акселерограммы после обработки цифровым фильтром

Выводы

Таким образом, результаты экспериментального исследования деформационной составляющей вибрации, измеренной в крепежных бонках ИВН, показали, что динамические деформации оказывают воздействие не только в верхнем поддиапазоне. Кроме того, пренебрежение деформационной составляющей вибрации приводит к существенным искажениям действительной картины динамического нагружения ТС.

Список литературы

1. Остроменский, П. И. Вибрационные испытания радиоаппаратуры и приборов / П. И. Остроменский. – Новосибирск : Изд-во Новосиб. ун-та, 1992. – 173 с.
2. Юрков, Н. К. К проблеме обеспечения безопасности сложных систем / Н. К. Юрков // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2011. – Т. 1. – С. 104–106.
3. Затылкин, А. В. Исследование влияния деформационной составляющей внешнего вибрационного воздействия на надежность радиоэлектронных средств / А. В. Затылкин, Д. А. Голушко, Д. А. Рындин // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2013. – Т. 2. – С. 42–43.
4. ГОСТ 30630.1.8-2002 (МЭК 60068-2-57:1989) Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие вибрации с воспроизведением заданной акселерограммы процесса.
5. Таньков, Г. В. Исследование моделей стержневых конструкций радиоэлектронных средств / Г. В. Таньков, В. А. Трусов, А. В. Затылкин // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2005. – Т. 1. – С. 156–158.
6. Затылкин, А. В. Алгоритмическое и программное обеспечение расчета параметров статически неопределимых систем амортизации РЭС / А. В. Затылкин, Г. В. Таньков, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 47–62.

Голушко Дмитрий Александрович
аспирант,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
8-(412)-36-82-12
E-mail: olddalez@yandex.ru.

Golushko Dmitriy Aleksandrovich
postgraduate student,
sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Аннотация. Приведены результаты эксперимента по выявлению характера вибрационного воздействия на технические системы объектов военного назначения, установленных на гусеничные шасси. Проведен анализ колебательных процессов технических систем в условиях внешних динамических воздействий в нижней и верхней части рабочего диапазона. На основе полученных результатов сделан вывод о необходимости развития существующих методов исследования вибрации и методов проведения испытаний технических систем на виброустойчивость и вибропрочность.

Ключевые слова: вибрация, деформационная составляющая, фазовый сдвиг, электронные средства, испытания.

Abstract. This article presents the results of an experiment to identify the nature of the interventions on the technical system of military facilities installed on crawler. The analysis of oscillatory processes of technical systems under external dynamic effects in the lower and upper part of the operating range. On the basis of the results concluded that the need for the development of existing research methods and techniques of vibration testing of technical systems for the vibration and vibration.

Key words: vibration, deformation component, phase shift, electronic tools, test.

УДК 62.1-9

Голушко, Д. А.

Исследование частотного спектра механических колебаний сложных технических систем подвижных объектов / Д. А. Голушко // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 4 (8). – С. 83–87.