

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА ВИБРАЦИЮ

Рожнов Андрей Борисович

Старший преподаватель кафедры стандартизации, метрологии и
технического сервиса

ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ,

г. Мичуринск, Россия

smart-68@yandex.ru

Асоскова Е.И.

Студентка 4 курса инженерного института

ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ

г. Мичуринск, Россия

Аннотация. Современный подход к вибрационным испытаниям: переход от абстракций к реальным данным.

Ключевые слова: акселерометр, вибростенд, СУВ

Как известно, от многих современных видов техники требуется высокая устойчивость к воздействиям окружающей среды, которыми являются температура, влажность и вибрации. Соответственно, в ходе производства и разработки изделия необходимо тестировать на воздействие этих факторов.

Проверка продукции на воздействие вибраций производится с помощью вибрационных установок, общая структура которых показана на рисунке 1.

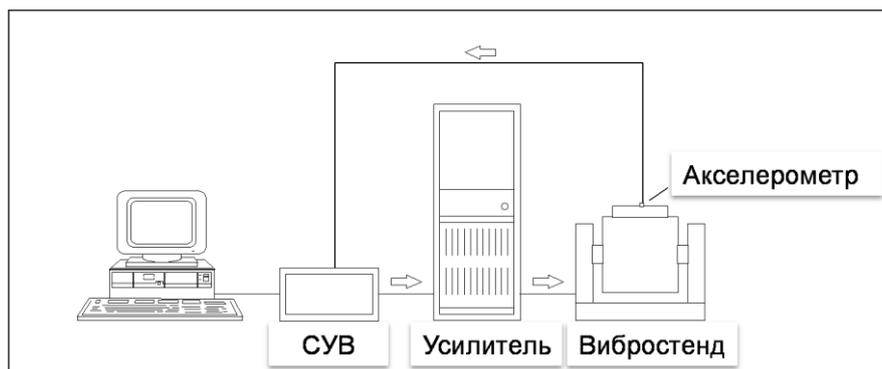


Рисунок 1 – Общая схема вибрационной установки

Установка состоит из:

1. Стенда, на который крепят объект и датчики – акселерометры;
2. Усилителя, основная задача которого подвести необходимую мощность к стенду;
3. Системы управления вибрацией (СУВ), основная задача которой следить за тем, чтобы сигнал, получаемый с акселерометра, соответствовал заданию пользователя, и корректировать сигнал, подаваемый на усилитель.
4. Компьютера, с помощью которого пользователь устанавливает задания, и который отображает результаты испытания – графики измерений, погрешности и т. д. и управляет ходом испытания.

После запуска испытания СУВ подает на стенд сигнал малого уровня, чтобы не повредить стенд в случае неисправности усилителя, затем постепенно его повышает до уровня, заданного пользователем. В ходе испытания СУВ изменяет сигнал, подаваемый через усилитель на объект, таким образом, чтобы сигнал с акселерометра соответствовал заданию пользователя. Также она

следит за правильностью хода испытания – проверяет, не превысили ли значения ускорения на стенде допустимые пределы.

В настоящее время существует множество типов испытаний изделий на вибростойкость, однако все из них можно разделить на три типа:

1. Испытания, в которых на объект воздействуют сигналом, описываемым базовой математической моделью – синус, широкополосная случайная вибрация (ШСВ), классический удар;

2. Испытания, в которых на объект воздействуют сигналом, описываемым совокупностью двух или трех базовых моделей – смешанные испытания, виброудар (имитация стрелково-пушечного воздействия);

3. Испытания, в которых на объект воздействуют сигналом, описываемым акселерограммой (испытания с воспроизведением заданной акселерограммы). При этом акселерограмма чаще всего не может быть описана ни одной из базовых моделей или их совокупностью.

Рассмотрим данные испытания и способы оценки их воспроизводимости на примере двух СУВ – ВС-207 и ВС-301. ВС-207 и ВС-301 выбраны для примера потому, что они реализуют все существующие типы испытаний, кроме того, программное обеспечение Visprobe 2.0 и Visprobe SL предоставляет наиболее полные возможности для оценки качества воспроизведения испытаний.

Первым из перечисленных методов является испытание синусоидальным сигналом. В этом случае воздействие на объект имеет форму синусоиды. Амплитуда сигнала является функцией частоты синусоиды и может задаваться в единицах ускорения, скорости или перемещения.

Частота может быть как фиксированной, так и плавно изменяющейся во времени.

С помощью испытаний синусоидальной вибрацией можно подвергнуть объект нагрузкам, которые сравнимы с реальными, но не полностью воспроизвести реальные условия эксплуатации, так как в природе практически не существует идеальных синусоидальных волн.

Следующим типом испытаний, который «закрывает» основной недостаток синусоидальной вибрации – наличие в сигнале только одной гармоники – являются испытания широкополосной случайной вибрацией.

В данном случае изделие подвергается воздействию случайным сигналом, который содержит все частоты из заданного диапазона. Мгновенные значения ускорения этого сигнала должны быть распределены по закону, близкому к гауссовому. При этом частотные составляющие сигнала имеют случайную фазу и амплитуду, что позволяет более точно воспроизвести условия эксплуатации.

Основной способ описания ШСВ – задание спектральной плотности мощности (т. е. фактически распределения энергии сигнала по частотам). Чаще всего такое распределение имеет вид кусочно-аналитической функции от частоты. Однако при проведении испытания мгновенная спектральная плотность мощности за счет природы случайного сигнала отличается от задания. При этом, чтобы доказать воспроизводимость испытания и оценить погрешность приходится использовать различные методы статистического анализа. Например, использовать осреднение спектра – т. е. вычисление среднего значения каждого спектрального бина за определенный промежуток времени. В программном обеспечении ВС-207 и ВС-301 реализованы два вида такого осреднения: линейное

Результаты осреднения, полученные по формулам сравниваются с заданием.

Третьей базовой моделью является испытание классическим ударом. Объект подвергается воздействию импульса ускорения, описываемого аналитической или кусочно-аналитической функцией. Примерами таких функций являются полусинус, треугольник, трапеция. Удары используются для проведения испытаний «транспортной тряски», целью которого является имитация транспортировки объекта, для имитации воздействия пиропатронов, отдачи от выстрелов и т. д.

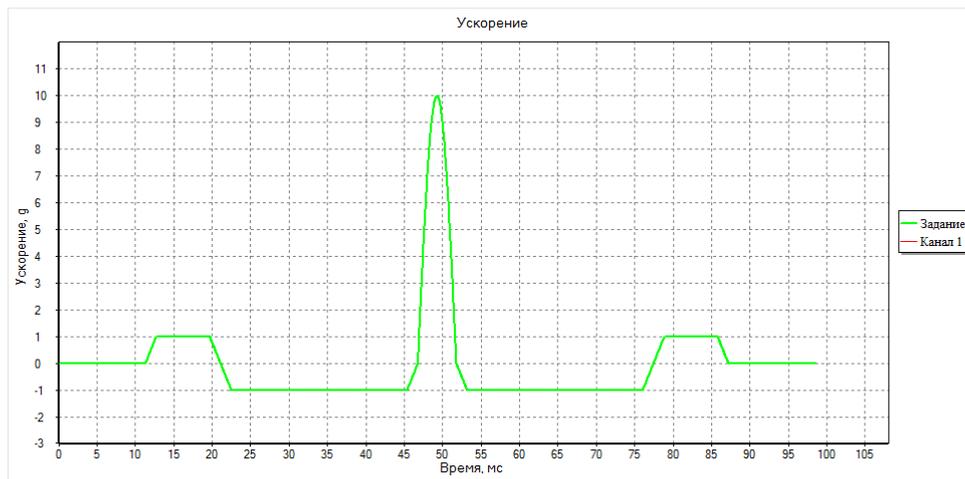


Рисунок 2 – Пример ударного импульса, рассчитанного в Visprobe 2.0

На рисунке 2 показана акселерограмма ударного воздействия, рассчитанная в программе Visprobe 2.0. На графике показан полусинусоидальный импульс, амплитудой 10 g и длительностью 5 мс. К нему добавлены пред – и постимпульсы – на рисунке они имеют трапецеидальную форму. Они добавляются для того, чтобы можно было использовать полное перемещение стенда (предымпульс отводит стенд в нижнюю точку в начале удара), и чтобы сделать перемещение и скорость в конце удара нулевыми.

Visprobe 2.0 и Visprobe SL предлагают два способа оценки удара:

1. Вычисление пикового ускорения отклика и сравнение его с заданием;
2. Вычисление мощности ударного импульса отклика и сравнение его с мощностью импульса задания.

Наличие двух критериев позволяет более полно оценить погрешность воспроизведения.

Ко второй группе испытаний – испытаниям, основанным на совокупностях базовых моделей, – относятся смешанные испытания – наложение синуса и ШСВ на ШСВ и виброудар (испытания стрелково-пушечного вооружения, СПВ).

Воздействие, которому подвергается объект смешанных испытаний, синтезируется как сумма некоторой «базовой» широкополосной случайной вибрации, полигармонического сигнала – нескольких синусов – и нескольких достаточно узких «полос» случайного сигнала, положение (центральная

частота) которых может меняться в зависимости от времени. Например, для испытания аппаратуры вертолетов применяются задания, состоящие из базовой широкополосной вибрации и суммы трех-четырех синусов. Базовое ШСВ является имитацией условий полета, а наложенные синусы – вибрациями, передающимися от работающих механизмов – основного винта, хвостового винта и так далее.

Испытания ШСВ на ШСВ и синус и ШСВ на ШСВ используются при тестировании аппаратуры самолетов с турбореактивными и турбовинтовыми двигателями.

Для оценки воспроизведения смешанных испытаний применяются подходы, используемые в испытании ШСВ и испытаниях синусоидальной вибрацией. Так, Visprobe SL позволяет построить графики погрешности поддержания амплитуды для каждого наложенного синуса и графики погрешности поддержания СКЗ для каждой полосы наложенного ШСВ.

Конечно, смешанные испытания можно воспроизвести и по очереди – например, сначала базовое ШСВ, потом синусы, потом наложенные ШСВ – но это займет минимум в три раза больше времени.

Список литературы

1. Trebuna F., Simcak F., Vocko J., Hunady R., Pastor M. «Complex approach to the vibrodiagnostic analysis of excessive vibration of the exhaust fan», *Engineering Failure Analysis* #37 (2014). 86–95

2. Puchalski A. «A technique for the vibration signal analysis in vehicle diagnostics», *Mechanical Systems and Signal Processing* #56–57(2015). 173–180

3. Сушко А.Е. Разработка специального математического и программного обеспечения для автоматизированной диагностики сложных систем. Дисс... канд. техн. наук. – М. – МИФИ. – 2007. – 170 с.

4. F. Balducchi, M. Arghir, S. Gaudillere. Experimental analysis of the unbalance response of rigid rotors supported on aerodynamic foil bearings.

Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition GT2014. June 16 – 20, 2014, Düsseldorf, Germany.

5. Bently D.E., Hatch C.T. "Fundamentals of rotating Machinery Diagnostics", Bently Pressurized Press, 2002, P.726.

MODERN METHODS OF VIBRATION TESTING

Rozhnov Andrey Borisovich

Senior Lecturer Department of Standardization,
metrology and technical service
Michurinsk State Agrarian University,
Michurinsk, Russia
smart-68@yandex.ru

Asoskova K.I.

4th year student
Engineering Institute
Michurinsk State Agrarian University
Michurinsk, Russia

Annotation. A modern approach to vibration testing: the transition from
abstractions to real data

Keywords. accelerometer, shaker, SUV