

# ETS Solutions – законы измерения вибрации



Электродинамические вибростенды линейки ETS Solutions относятся к наиболее популярному типу вибростендов, которые позволяют выполнить большую часть испытаний на вибропрочность. В статье представлены разные серии, начиная с компактной модификации MS и заканчивая вибростендами ETS Solutions серии I, которые соответствуют военным стандартам.

000 НПП «Универсал Прибор», г. Санкт-Петербург

## Испытания на вибропрочность

Основополагающий принцип физики гласит, что каждый объект до некоторой степени вибрирует. Это происходит и на микроуровне, где колеблются атомные и субатомные частицы, и на макроуровне, где огромные объекты подвергаются воздействию окружающих сил, которые заставляют их двигаться. Можно сказать, что вибрация – неизбежный и необходимый фактор нашего изменчивого мира.

С технической точки зрения, вибрация – это механические колебания, которые возникают под воздействием сил, толкающих объекты за пределы их точки равновесия или покоя. Эти колебания, с их максимальными и минимальными значениями, измеримы. Можно измерить их частоту, определить форму волны вибрации, построить спектрограмму: картину амплитуд, составляющих вибрацию. Один цикл колебаний вибрации завершается на протяжении определенного интервала времени, который тоже измеряется специальным оборудованием.

Существуют разные виды колебаний. Так, вибрация может быть периодической, то есть, согласно ГОСТ 24346-80, «...каждое значение колеблющейся величины, характеризующей

вибрацию, повторяется через равные интервалы времени», как у маятника в механических часах. Бывает и случайная вибрация – например, сотрясающаяся подвеска автомобиля, испытывающая перегрузки на неровной дороге. Стационарное оборудование (допустим, расположенные на полке электронные устройства) может начать вибрировать под воздействием внешних сил. Со своей стороны, многочисленное мобильное оборудование – двигатели и вентиляторы, работая, создает внутренние силы, приводящие к вибрации. Все эти виды колебаний воспроизводят современные испытательные вибростенды.

Любое изделие, как и любое физическое тело в принципе, уязвимо для чрезмерных вибрационных нагрузок, которые способны вызвать отказы или разрушение. Этой опасности подвержены все объекты, начиная от микропроцессоров и заканчивая мостами и небоскребами. Поэтому все изделия проходят вибрационные испытания, которые позволяют определить пределы допустимой вибрационной нагрузки.

Виброиспытания показывают проектировщикам, инженерам и производителям, какие нагрузки способен

выдержать их продукт. Успешно пройденное испытание на устойчивость к вибрации гарантирует, что изделие соответствует назначению, нормативным требованиям и стандартам безопасности, в том числе требованиям международных стандартов ISO.

Многие промышленные предприятия регулярно проводят вибрационные испытания в целях контроля качества своей продукции. Они так и называются: «диагностика на вибростенде» – и выполняются для того, чтобы перед выпуском изделия определить, какие вибрационные нагрузки оно выдержит. Эта информация позволит конечному пользователю, соблюдая известные ограничения, приносить изделие без опасных для себя последствий. Данные, полученные в рамках испытания на вибростойкость, помогают предотвратить возврат изделия, поддержать условия гарантии и продлить срок эксплуатации.

Для таких испытаний сегодня существуют вибростенды разных типов:

- ▶ **механические** создают вибрацию с помощью двигателя с эксцентриком на валу;
- ▶ **электродинамические** используют электромагнит для создания силы и вибрации;



Рис. 1. Электродинамический вибростенд ETS Solutions: а – виброгенератор; б – усилитель мощности

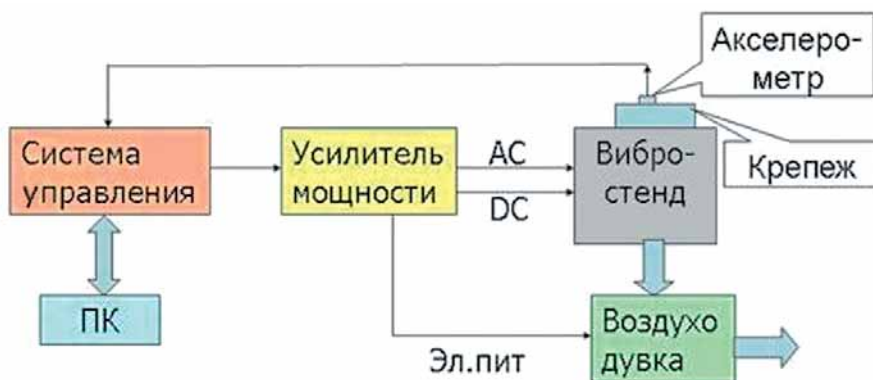


Рис. 2. Структурная схема усилителя мощности

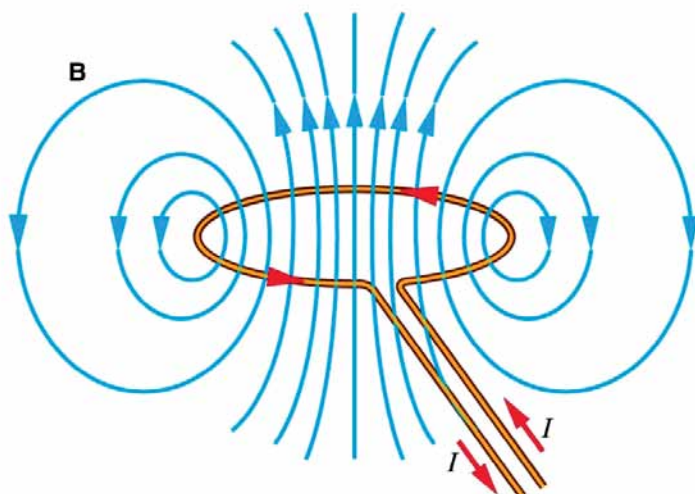


Рис. 3. Круглый проводник с протекающим постоянным током создает постоянное магнитное поле

► **гидравлические** позволяют создавать большие амплитуды силы, например, для испытания крупных аэрокосмических или морских конструкций. Также их используют в тех случаях, когда недопустимы магнитные поля, создаваемые электродинамическими генераторами;

► **пневматические аппараты**, или столы с пневматическим ударом, используют сжатый воздух для управления вибростолом;

► **пьезоэлектрические вибростенды** работают, прикладывая электрический заряд и напряжение к чувствительному пьезоэлектрическому кристаллу или керамическому элементу, чтобы вызвать деформацию и движение.

Чаще всего используются электродинамические вибростенды. Им отдают предпочтение благодаря таким преимуществам, как создание вибрации на более высоких частотах и воспроизведение, наряду с вибрацией, различных типов движения.

#### Электродинамические вибростенды ETS Solutions

Компания НПП «Универсал Прибор» более 10 лет поставляет в Россию и страны СНГ электродинамические вибростенды компании ETS Solutions (рис. 1), официальным дилером которой является.

Конструктивно электродинамический вибростенд состоит из усилителя мощности, системы охлаждения и виброгенератора. В свою очередь, виброгенератор оснащен вибростолом и системой управления, контролирующей рабочий процесс. Система управления генерирует сигнал, который поступает в усилитель мощности. Усилитель мощности усиливает этот сигнал и подает его в электродинамическую вибрационную систему, которая, используя принципы электромагнетизма, преобразует его в механические колебания (рис. 2).

Эта система похожа на громкоговоритель: в проводнике с протекающим по нему током, который находится в магнитном поле, возникает сила, направленная перпендикулярно проводнику и магнитному потоку, величина которой прямо пропорциональна силе тока. В нашем случае проводник наматывается на цилиндрическую основу (арматуру), которая входит в состав подвижной системы вибростенда. Вся конструкция

упруго подвешивается в радиальном магнитном поле (рис. 3).

На эту подвижную систему и воздействует сила, прямо пропорциональная силе тока. Причем подвес удерживает катушку в магнитном поле таким образом, что подвижная система может перемещаться на ограниченное расстояние в продольном направлении соосно корпусу вибростенда. Это расстояние называется номинальным ходом подвижной системы (виброперемещение).

Разобравшись с конструкцией и принципом действия, перейдем к главному: выбору электродинамического вибростенда для конкретных нужд. Ведь надо подобрать такое оборудование, которое будет выполнять все необходимые задачи, при этом работать не на пределе своих возможностей, и, что важно, пользователю не придется за него переплачивать. Как же выбрать самое эффективное решение для своих целей при минимальных затратах? Попробуем разобраться.

Допустим, нам требуется вибростенд для изделий массой  $m = 1,5$  кг. Испытания должны проводиться при максимальном виброускорении  $a_{max} = 50$  м/с<sup>2</sup> в частотном диапазоне от 10 до 2000 Гц.

Одним из основных параметров любого электродинамического вибростенда является толкающая сила  $F$ , поэтому выбор вибростенда следует начинать с соблюдения условий ее достаточности.

Проверка соблюдения условий достаточности толкающей силы выполняется по формуле:

$$F > k \times m_{max} \times a_{max},$$

где  $k$  – коэффициент запаса (рекомендуется принять равным 2);  $m_{max}$  – максимальная масса, которая включает в себя, помимо массы изделия, массу оснастки (стол расширения, элементы крепления и другое) и массу подвижной части вибростенда.

В связи с тем, что на этапе выбора вибростенда еще неизвестны присоединительные размеры монтажной площадки подвижной части вибростенда, а следовательно, точное значение массы оснастки тоже неизвестно, целесообразно принять значение массы оснастки равной массе изделия. Массу подвижной части вибростенда до момента определения конкретной

модели мы тоже не знаем, поэтому на этапе предварительного расчета ею можно пренебречь, с учетом проведения последующего проверочного расчета.

В нашем случае получаем:

$$F > 2 \times (1,5 + 1,5) \times 50 = 300 \text{ Н.}$$

Таким образом, для выполнения условий необходимо выбрать вибростенд с толкающей силой не менее 300 Н. Выберем удовлетворяющий данному условию вибростенд с выталкивающим усилием 400 Н.

Сначала проверим, что максимальная статическая нагрузка больше суммы массы испытываемого изделия и массы оснастки для крепления изделия на вибростенде:

$$6 > 1,5 + 1,5.$$

Условие выполняется, поэтому переходим к следующему шагу и выполняем проверочный расчет на толкающую силу уже с учетом массы подвижной части вибростенда:

$$F_{расч} = k \times m_{max} \times a_{max} = 2 \times (1,5 + 1,5 + 0,4) \times 50 = 340 \text{ Н.}$$

Толкающая сила вибростенда (400 Н) больше расчетной толкающей силы (340 Н), что указывает на положительные результаты проверочного расчета.

В линейку электродинамических вибростендов ETS Solutions входит несколько модификаций. Каждая из них создана для решения определенных задач в сфере виброиспытаний.

### Электродинамические вибростенды ETS Solutions серии MS

Устройство величиной с ладонь (рис. 4) разработано с применением технологии постоянного магнита для возбуждения и подходит для исследовательских и образовательных работ, таких как тестирование характеристик конструкции, калибровка датчиков вибрации и акселерометра.

Электродинамический вибростенд серии MS имеет малый вес и небольшой объем, его удобно перемещать.

Частотный диапазон миниатюрного возбудителя колебаний составляет 2...10 кГц, максимальное межпиковое смещение – 10 мм. Это устройство обеспечивает оптимальную производительность при работе с усилителем мощности 200 ВА и может передавать синусоидальные усилия до 50 Н.

### Электродинамические вибростенды ETS Solutions серии L

Вибростенды с выталкивающим усилием 2...10 кН подходят для испытания электронных узлов, небольших автомобильных компонентов, ручных приборов, устройств хранения данных, разъемов (рис. 5).

### Электродинамические вибростенды ETS Solutions серии M

Вибростенды серии M имеют выталкивающее усилие 20...70, что подходит для тестирования средних и больших электронных сборок, деталей автомобилей. Чаще всего серия M применяется для испытания электронных и автомобильных блоков и авиационной техники.



Рис. 4. Электродинамический вибростенд ETS Solutions серии MS



Рис. 5. Электродинамический вибростенд ETS Solutions серии L



Рис. 6. Электродинамический вибростенд ETS Solutions серии LS

#### Электродинамические вибростенды ETS Solutions с длинным ходом серии LS

Вибростенды серии LS (рис. 6) подходят для испытаний на низкой частоте при увеличенном перемещении. Именно эти устройства используются для испытаний на сейсмостойкость. Имеют мощность 20...70 кН и частотный диапазон до 2500 Гц. Максимальная нагрузка вибростендов составляет до 1000 кг, диаметр арматуры — от 320 до 480 мм, максимальное перемещение — до 80 мм.

#### Электродинамические вибростенды ETS Solutions серии H

Вибростенды серии H имеют выталкивающее усилие 80...350 кН и применяются для тестирования высо-

кими ускорениями узлов больших размеров.

#### Индукционные вибростенды ETS Solutions серии I

Вибростенды серии I (рис. 7) соответствуют военным и международным стандартам: MIL, ASTM, IEC, ISO, BS, JIS и др. Якорь Y-образного шейкера с экстремальным ускорением (EAS-Y Ring) представляет собой революционную конструкцию. Она позволяет использовать пропорциональный расширитель головки для одновременного тестирования нескольких образцов при крайне высоком уровне ускорения. Также с помощью вибростенда серии I легко выполнить другие задачи, среди которых имитация вибрации

при транспортировке, комбинированные виброклиматические испытания и сейсмическое моделирование для малогабаритных компонентов.

#### Заключение

В статье мы описали только основную функциональность электродинамических стендов ETS Solutions, хотя спектр их возможностей гораздо шире. В частности, дополнительные возможности предоставляет следующее оборудование:

- ▶ расширительный стол;
- ▶ горизонтальный стол скольжения;
- ▶ комбинированная климатическая камера;
- ▶ пневматическая система обезвешивания;
- ▶ система против опрокидывания.

Специалисты компании НПП «Универсал Прибор» ответят на все вопросы и помогут подобрать как необходимую модель электродинамического вибростенда, так и дополнительное оборудование, с помощью которых можно решать самые сложные инженерные задачи.



Рис. 7. Электродинамические вибростенды ETS Solutions серии I

В. В. Нерсесов, руководитель отдела испытательного оборудования, ООО НПП «Универсал Прибор», г. Санкт-Петербург, тел.: +7 (812) 334-5566, e-mail: pribor@pribor.ru, сайт: www.pribor.ru