

Имитатор окружающей среды. Особенности выбора вибростендов

Сразу после своего «рождения» и на протяжении всего жизненного пути любое промышленное изделие подвергается механическим воздействиям, которые способны вывести его из строя. Как минимум — это тряска во время перевозки, как максимум — ударные воздействия, связанные с особыми условиями работы изделия. Такие воздействия по сути своей являются различными вариантами вибрации. Их можно и нужно моделировать в производственных условиях, чтобы проверить механическую прочность изготовленной продукции прежде, чем передать ее заказчику.

Александр Кисин

aikisin@dipaul.ru

Валентин Дубенский

dubenskiy@dipaul.ru

Виды искусственных механических воздействий регламентируются различными нормативными документами, содержащими требования к испытаниям всевозможных видов продукции. Самые общие требования указаны в государственных стандартах, а наиболее детальные — в технических условиях на конкретное изделие.

Самыми распространенными механическими воздействиями являются синусоидальные колебания (СК), широкополосная случайная вибрация (ШСВ) и классические удары (КУ), имеющие форму полусинуса, зуба пилы и трапеции.

СК характеризуется, прежде всего, частотой (f) и амплитудой одного из трех взаимосвязанных параметров: виброускорения (A), виброскорости (V) и вибросмещения (S).

ШСВ описывается полосой частот Δf и значением одного из двух зависимых параметров: спектральной плотностью ускорения d и среднеквадратическим значением ускорения A_{rms} в указанной полосе частот.

КУ определяется формой ударного импульса, пиковым значением ускорения A_p и длительностью этого импульса.

Таким образом, получив из нормативных документов параметры воздействий, которые нужно смоделировать, а также зная массу и габариты изделия, можно перейти к выбору вибростенда.

Наиболее распространенным типом вибростендов являются электродинамические (ЭДВ), так как благодаря использованию системы автоматического регулирования вибрации (системы управления с обратной связью) они позволяют создавать колебания с разнообразными профилями в широком диапазоне частот.

Принцип их действия основан на эффекте, открытом М. Фарадеем еще в XIX веке: при прохождении тока через проводник, помещенный в магнитное поле, на него действует сила, пропорциональная величине этого тока. В основе конструкции ЭДВ две катушки: большая неподвижная, создающая мощное постоянное магнитное поле, и малая подвижная, на которую подается полезный сигнал, вызывающий в ней ток, что вынуждает ее перемещаться пропорци-

онально величине этого сигнала. Кроме того, в состав ЭДВ входят система управления, формирующая полезный сигнал, усилитель мощности, увеличивающий мощность сигнала до величины, необходимой для перемещения малой катушки, и вентилятор охлаждения, который удаляет джоулево тепло из катушек, чтобы они не перегорели.

Наиболее важным параметром ЭДВ является максимальное значение силы F , которую он развивает при СК, ШСВ и КУ. Чем она больше, тем больше размеры, вес и цена вибростенда. Другие параметры стенда также имеют важное значение при его выборе. Среди них отметим следующие:

- **Допустимая статическая нагрузка** — предельный вес, которым можно нагрузить арматуру (цилиндрический столик вибростенда, в корпусе которого расположена малая катушка) обесточенного ЭДВ.
- **Масса арматуры** — ее следует учесть при расчете силы, необходимой для перемещения образца.
- **Диаметр арматуры и параметры ее отверстий** для крепежа образца или приспособления, фиксирующего образец.
- **Допустимый эксцентрический момент арматуры** — предельный опрокидывающий момент, который не приведет к разрушению виброгенератора. Этот момент возникает при закреплении образца со смещением его центра массы относительно вертикальной оси арматуры.
- **Диапазон рабочих частот** — полоса частот, в которой производитель гарантирует плавную нагрузочную характеристику вибростенда (без острых резонансов).
- **Допустимое вибросмещение арматуры** — состояние, которое проходит арматура от самого низкого до самого высокого своего положения. Оно определяется конструкцией и ограничивает возможное виброускорение при работе в области низких частот.
- **Допустимая виброскорость** — зависит от максимального выходного напряжения усилителя. Это накладывает ограничение на сочетание параметров (ускорение – длительность) ударного импульса.

• **Допустимое виброускорение** — обусловлено конструкцией вибростенда.

Обобщая опыт поставок вибростендов, их производители и продавцы давно пришли к выводу, что лучший выбор вибростенда может сделать только его производитель. Он знает все особенности этого сложного инженерного оборудования, тонкости его работы с теми или иными приспособлениями в разных зонах частотного диапазона и при различных режимах вибрации. Поэтому покупателю следует сформулировать стоящую перед ним задачу (обычно для ее формализации поставщик высылает покупателю опросный лист), а производитель после тщательного анализа сделает оптимальный выбор. Это позволит избежать разочарования для покупателя и потери клиента для продавца.

Другой вопрос, когда покупатель хочет сделать прикидку — оценить габариты, вес, энергопотребление оборудования, планируемого к приобретению. В этом случае прежде всего следует вычислить силу, которую нужно обеспечить при СК, ШСВ и КУ.

$$F_{СК} = m \times A_{СК},$$

$$F_{ШСВ} = m \times A_{rms}$$

$$F_{КУ} = m \times A_p$$

где $m = m_{ар} + m_{кр} + m_{обр} + m_{ст}$ — полная перемещаемая масса; $m_{ар}$ — масса арматуры; $m_{кр}$ — масса крепежа образца, в том числе приспособления, если оно используется; $m_{обр}$ — масса образца; $m_{ст}$ — масса стола, надеваемого сверху на арматуру, или плиты горизонтального стола, которую толкает повернутый горизонтально виброгенератор.

Вычислив $F_{СК}$, $F_{ШСВ}$, $F_{КУ}$, остается выбрать вибростенд, который, с одной стороны, должен обеспечить полученные значения силы (желательно иметь 20%-ный запас по силе, особенно в режиме удара), с другой стороны, масса, закрепляемая на арматуре и равная ($m_{кр} + m_{обр} + m_{ст}$), должна быть меньше допустимой статической нагрузки вибростенда. Если последнее условие не выполняется, следует либо выбрать более мощный вибростенд, либо использовать специальное устройство разгрузки арматуры, ухудшающее динамические характеристики стенда.

Если нужно испытывать образец, масса и габариты которого превышают возможности подходящего по силе вибростенда, создающего колебания в вертикальном направлении, можно оснастить выбранный стенд горизонтальным скользящим столом. Выбор такого стола также далеко не тривиален, но в первом приближении важно учесть массу подвижной плиты, допустимую вертикальную нагрузку и три момента силы, которые действуют на плиту с закрепленным на ней образцом (рис. 1):

- Roll — момент раскачивания поперек оси движения (направления действия толкающей силы).
- Yaw — момент вращения вокруг оси, перпендикулярной плоскости стола.
- Pitch — момент опрокидывания, самый важный в большинстве случаев, так как он

Таблица 1. Технические характеристики вибростендов малой мощности

Характеристики системы		L0111A	L0211A	L0315M	L0620M	L1024M
Номинальная максимальная сила, Н	Син., ШСВ	980	1960	2940	5880	9800
	Удар 6 мс	1960	3920	5880	11 800	19 600
Диапазон частот, Гц		5–4500	5–4500	5–4500	5–5000	5–3500
Виброперемещение, мм	Непрерывный режим	25	25	40	51	51
	Удар	25	25	40	51	51
Максимальная виброскорость, м/с		2	2	2	2	2
Максимальное виброускорение, м/с ² (g)		490 (50)	980 (100)	980 (100)	980 (100)	980 (100)
Диаметр арматуры, мм		110	110	150	200	240
Эффективная масса арматуры, кг		2	2	3	6	10
Максимальная статическая нагрузка, кг		70	70	120	200	200

Таблица 2. Технические характеристики вибростендов средней мощности

Характеристики системы		M1528A	M2232A	M3240A	M4040A	M5044A	M6044A	M6544A
Номинальная максимальная сила, Н	Син., ШСВ	14 700	21 600	31 400	39 200	49 000	58 800	63 700
	Удар 6 мс	29 400	43 100	62 800	78 500	98 000	118 000	127 000
Диапазон частот, Гц		5–3000	5–3000	5–2500	5–2400	5–2500	5–2500	5–2500
Виброперемещение, мм	Непрерывный режим	51	51	51	51	51	51	51
	Удар	51	51	51	51	51	51	51
Максимальная виброскорость, м/с		2	2	2	2	2	2	2
Максимальное виброускорение, м/с ² (g)		784 (80)	980 (100)	980 (100)	980 (100)	980 (100)	980 (100)	980 (100)
Диаметр арматуры, мм		280	320	400	400	445	445	445
Эффективная масса арматуры, кг		18	22	32	40	49	49	50
Максимальная статическая нагрузка, кг		300	300	500	500	1000	1000	1000

вызывается создаваемой виброгенератором силой, плечо которой — это высота положения центра масс образца над плитой стола.

Допустимые значения моментов известны для любого стандартно выпускаемого стола. Оценив значения возникающих моментов (Pitch вычисляется как произведение силы $F_{СК}$, $F_{ШСВ}$, $F_{КУ}$ на высоту центра масс), можно выбрать подходящий горизонтальный стол.

Все сказанное выше имеет прямое отношение к электродинамическим вибростендам американской компании Sentek Dynamics, Inc., российским представителем которой является Группа компаний «Диполь».

«Диполь» не случайно стал партнером Sentek Dynamics. После внимательного изучения оборудования производителей мирового уровня в пользу Sentek Dynamics сыграли несколько факторов: качество на уровне самых высоких стандартов оборудования, произведенного в США, Японии или Европе; широкий модельный ряд, соответствующий самым сложным и специфичным задачам, и разумная цена по сравнению с аналогами.

Далее приведен краткий обзор продукции Sentek Dynamics.



Рис. 1. Три момента силы, которые действуют на плиту с закрепленным на ней образцом

Примечание. Роль плиты с образцом для наглядности играет самолет.

Sentek Dynamics производит системы вибрационных испытаний, удовлетворяющие самые разнообразные требования заказчика. В зависимости от поставленной задачи и технического задания компания предлагает несколько серий оборудования. Все вибростенды Sentek Dynamics можно заказать в реализации с различными вариантами вертикальных и горизонтальных расширительных столов, оснастки, систем пневмоподдержки и других необходимых опций. Системы поставляются «под ключ» и, обладая интуитивно понятным и логически сконфигурированным интерфейсом управления, не требуют специальных навыков и длительного обучения персонала.

Серия вибростендов малой мощности до 10 кН призвана обеспечить испытания небольших узлов и компонентов на частотах до 5000 Гц. Вибростенды имеют воздушное охлаждение, компактные размеры усилителей и все необходимые опции, которыми обладают модели более мощных серий. В таблице 1 представлены технические характеристики вибростендов Sentek Dynamics малой мощности.

Вибростенды Sentek Dynamics средней мощности (до 64 кН) представляют собой системы с воздушным охлаждением и расширенной комплектацией в базовой поставке. Благодаря использованию пневмоамортизаторов, как правило, нет необходимости в создании отдельного фундамента под вибростенд. Отдельно следует отметить большую статическую нагрузку вибростендов этой серии (табл. 2).

Вибростенды большой мощности (до 160 кН, табл. 3) требуют организации водяного охлаждения. Вопрос о том, необходим ли для такого вибростенда специальный фундамент, следует обсуждать отдельно в каждом конкретном случае в зависимости от имеющихся требований к испытаниям и особенностям образца испытаний.

Таблица 3. Технические характеристики вибростендов большой мощности

Характеристики системы		H6544A	H8044A	H10056A	H12056A	H16060A
Номинальная максимальная сила, Н	Син., ШСВ	63 700	78 500	98 000	118 000	157 000
	Удар 6 мс	127 000	157 000	196 000	235 000	314 000
Диапазон частот, Гц		5–2500	5–2500	5–2400	5–2400	5–2200
Виброперемещение, мм	Непрерывный режим	51	51	51	51	51
	Удар	51	51	51	51	51
Максимальная виброскорость, м/с		2	2	2	2	2
Максимальное виброускорение, м/с ² (g)		980 (100)	980 (100)	980 (100)	980 (100)	980 (100)
Диаметр арматуры, мм		445	445	560	560	600
Эффективная масса арматуры, кг		50	60	100	100	160
Максимальная статическая нагрузка, кг		1000	1000	1500	1500	2000

Таблица 4. Технические характеристики вибростендов сверхбольшой мощности

Характеристики системы		E20060A	E30076A	E40082A
Номинальная максимальная сила, Н	Син., ШСВ	196 000	294 000	392 000
	Удар 6 мс	392 000	588 000	785 000
Диапазон частот, Гц		5–2200	5–1900	5–1700
Виброперемещение, мм	Непрерывный режим	51	51	51
	Удар	51	51	51
Максимальная виброскорость, м/с		2	1,8	1,8
Максимальное виброускорение, м/с ² (g)		980 (100)	980 (100)	980 (100)
Диаметр арматуры, мм		600	760	820
Эффективная масса арматуры, кг		160	230	350
Максимальная статическая нагрузка, кг		2000	3200	6000

**Рис. 2.** Система трехосевых испытаний

Нельзя не отметить вибростенды сверхбольшой мощности — на 200, 300 и 400 кН (табл. 4). В вибростендах этой серии воплощены опыт, производственные возможности и современные технологии Sentek Dynamics. Готовится к запуску в серийное производство система и на 600 кН.

Для заказчиков, имеющих специальные требования к испытаниям, разработаны серия вибростендов, воспроизводящих высокие ускорения, и серия вибростендов с увеличенным виброперемещением. Для реализации испытаний изделий по трем направлениям одновременно, например по стандарту MIL-STD-810G, компания Sentek Dynamics выпускает уникальные системы трехосевых испытаний (рис. 2).

Таким образом, Sentek Dynamics предлагает чрезвычайно широкий спектр испытательного вибрационного оборудования, которое отвечает любым ожиданиям заказчиков. Системы, соответствующие международным стандартам и отечественным ГОСТам на испытания, обеспечат проведение испытаний с высокой точностью, надежностью и комфортом в работе.