

# ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНОЙ ТРЯСКИ

Текст: Максим Чистяков  
Артем Жуйков

”

Вспомните, о чём вы думаете, когда открываете коробку с только что купленным гаджетом? Когда впервые берете его в руки, включаете, начинаете пользоваться? Могу поспорить, вы не задумываетесь о том, как может этот прибор, пройдя длинный путь от завода изготовителя до прилавка магазина, иметь идеальное техническое и внешнее состояние? Правильно, вам об этом задумываться не нужно, так как этим уже озаботился сам производитель. И в этой статье речь пойдёт о способах тестирования изделий и их упаковки при транспортировании, обеспечивающих качество и надёжность конечного продукта.

Испытания на транспортную тряску проводятся с целью проверки изделия и упаковки противостоять воздействию механических факторов, имитирующих тряску при транспортировке любым видом транспорта. Испытаниям подвергаются образцы без упаковки или в транспортной таре, когда она составляет с образцом единое целое или исследуются её защитные свойства. Во всем мире технология транспортной тряски регулируется общепринятыми стандартами организаций: ASTM, ISTA, ISO, EUMOS, а также военными стандартами серии MIL. Помимо прочего, есть компании, например Amazon, которые сотрудничают с ISTA и имеют свои стандарты Project 6-AMAZON.COM-SIOC, Ships in Own Container (SIOC) и т. д. В России руководствуются, пожалуй, только стандартом 13085 – ГОСТ 20.57.406-81 «Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические».

## Виды испытаний

Испытания на транспортирование условно можно разделить на несколько видов в соответствии с ГОСТ Р 51909-2002 «Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на транспортирование и хранение».

**Натурные испытания.** Испытания образцов массами свыше 200 кг с упаковкой осуществляются перевозкой на автомашинах по булыжным или грунтовым дорогам на расстояния 50, 250 или 2 000 км для условий транспортирования Л, С или Ж соответственно. Л, С и Ж – это обозначения условий транспортирования: Лёгкие, Средние, Жёсткие. В них зашифрованы характеристики тех самых условий, например: от перевозки грузов на автомобильном транспорте с пневматическим демпфированием по асфальтовым и бетонным покрытиям (дороги 1-й категории) до перевозок по булыжным (дороги 2-й и 3-й категорий) и грунтовым дорогам на расстояния свыше 250 км со скоростью до 40 км/ч.

Испытания предназначены для воспроизведения воздействий повторяющихся и не повторяющихся ударов, которые могут возникать в процессе транспортирования аппаратуры или элементов, или когда последние установлены на различных видах транспортных средств. Также испытание на ударную прочность при верхнем рабочем значении пикового ударного ускорения для образцов до 200 кг в упаковке.

**Испытания на транспортирование.** Существуют три категории обычно используемых тестов в области транспортной упаковки и подкатегории каждой из них:

- Первая категория – это тест на «отскок» (не вибрация). Тест проводится на той частоте, на которой только начинается отскок (приблизительно 4,6 Гц), но иногда на других частотах: ISTA 1F требует 3,3 Гц, ISO 2247 упоминает частоты в диапазоне от 3 до 4,6 Гц. На практике встречаются диапазоны частот от 7 до 10 Гц и т. д.

- Вторая категория – испытания на воздействие синусоидальной вибрации (синус) с заданными ускорением и частотами. Подкатегории представляют собой тесты сдвига (качение частоты) и тесты задержки (слежение за резонансной частотой). При использовании для транспортной упаковки теста сдвига поддерживают ускорение, постоянно и медленно изменяя рабочую частоту в заданном диапазоне. Например, в ASTM D4169 допускаются сдвиги 0,25 или 0,5 G в диапазоне частот от 3 до 100 Гц. В некоторых технических условиях все требования к вибрации обозначаются одним или несколькими синусоидальными сдвигами. Однако во многих случаях (таких как ASTM D4169, D999, D3580 и D5112) развертку используют для поиска резонансов (собственных частот) в продукте или системе продукт/упаковка. Как только эти резонансные частоты идентифицированы, испытания на задержку проводят на самой низкой и на самой высокой.
- Тест задержки – это одночастотный синусоидальный тест с постоянной амплитудой. ASTM рекомендует определенное время задержки и предлагает при необходимости слегка сдвинуть испытательную частоту (для отслеживания любого сдвига резонансной частоты испытываемого объекта вследствие усталости или других воздействий), чтобы испытания всегда проводились «на частоте максимальной чувствительности».

**Случайная вибрация** – третий вид испытания.

В повседневных условиях вибрационные силы, воздействующие на изделие и упаковку, не являются результатом одной синусоидальной вибрации. Простой пример: вибрация в кузове машины случайна по своей природе. Она возникает как сумма от нескольких синусоидальных вибраций с различной частотой и амплитудой. Другой пример: когда мы условно имеем один объект с частотой 4 Гц, а другой с частотой 15 Гц. Если проводить тесты поочередно, сначала на частоте 4 Гц, а потом на частоте 15 Гц, вероятность касания частот равна нулю. Если же мы проведем тесты одновременно на обеих частотах, то вероятность их касания возрастет в разы, что приблизит данный тест к реальным условиям. Таким образом, если мы будем проводить тесты на одной фиксированной частоте, это не позволит получить полную картину состояния изделия или упаковки.

Эти испытания могут быть наиболее близкими к моделированию фактических, реальных условий транспортирования и обычно описываются с помощью графиков спектральной плотности мощности (PSD) – графиков «средней» интенсивности ускорения в частотной области (PSD как функция частоты).

## Виды и условия перевозки

Существует четыре основных вида транспорта: автомобильный, железнодорожный, воздушный и водный.

В рамках каждого вида может существовать ряд переменных типов и подтипов: количество и конфигурация груза, условия транзита (шоссе, трасса, турбулентность, состояние моря) и т.д. В результате получается почти бесконечное число возможных комбинаций. Чтобы свести переменные в пригодный для использования формат, технический комитет ISTA предложил (на сегодняшний день неофициально) категории вибрации, представленные в **Т 1**. Идея состоит в том, что потенциально может существовать случайный спектр вибрации (PSD-график) для каждого маркированного элемента.

### Ускоренные вибрационные испытания

Нельзя забывать и о длительности перевозки и расстоянии. Специалисты многих комитетов и ассоциаций тестирования решают вопрос о том, каким образом смоделировать испытания, максимально приближенные к фактической транспортировке? Если предположить, что используемый профиль и интенсивность PSD являются подходящими и точными представлениями вида и состояния транспорта, то один час испытания будет равен одному часу представленного движения транспорта. Но поскольку время транспортировки является фактической продолжительностью «в движении» (а не общим временем пробега), может быть установлена связь с расстоянием. Если, например, транспортное средство постоянно двигалось со скоростью 60 км/час и при этом производило профиль и интенсивность PSD для использования в лаборатории, то один час испытания был бы эквивалентен 60 км.

Правильно смоделированный лабораторный вибрационный тест может соответствовать реальному транспорту. Но идея тестирования в течение часа, чтобы имитировать только 60 километров или около того, не очень актуальна. Здесь возникает концепция ускоренного вибрационного тестирования.

В монографии «Shock & Vibration» 1971 года Кертис, Тинлинг и Абштейн из Hughes Aircraft Company изложили

методологию временного сжатия вибрационных тестирований. В 1993 году Деннис Янг (в настоящее время технический директор ISTA) в своей статье «Focus Simulation» представил формулу для вычисления величины увеличения ускорения, соответствующей уменьшению времени тестирования:

$$I_T = I_0 \sqrt{T_0 / T_T}$$

где  $I_T$  = интенсивность испытаний в граммах (общая интенсивность профиля PSD)

$I_0$  = исходная интенсивность

(общие граммы исходного профиля)

$T_0$  = длительность исходного профиля

$T_T$  = время тестирования

На основе выбранного отношения  $T_0/T_T$  по формуле рассчитывают новую интенсивность испытаний. Форма профиля остается неизменной, он просто переводится на график PSD, чтобы увеличить его интенсивность. Таким образом, в нашем примере «1 час = 60 км», если мы умножим интенсивность теста (в целом  $G_{rms}$ ) на коэффициент 5, мы сможем ускорить тест (сжать время) на коэффициент 5, сделав его «1 час = 300 км».

Но существуют некоторые оговорки: в данных тестах не всегда возможно учесть состояние дорожного покрытия (что крайне актуально для нашей страны) и формула фокусируется только на уровнях  $G_{rms}$  и игнорирует формы спектров, что может иметь большое влияние на результаты тестов.

Так сколько же часов испытаний соответствует количеству пройденного пути? Краткий ответ: испытания на «отскок» и испытания на синусоидальный сдвиг/задержку, хотя они широко используются и полезны для других целей, не являются моделированием транспортной среды. Поэтому их нельзя рассматривать как «эквивалентные» фактическому времени или расстоянию перевозки.



Категории вибрации

| ДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ  | ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ  |
|---|--|
| <p>Грузовик</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ на рессорах – легкая загрузка</li> <li>▪ на рессорах – полная загрузка</li> <li>▪ на пневмоподвеске – легкая загрузка</li> <li>▪ на пневмоподвеске – полная загрузка</li> </ul> <p>Фура</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ на рессорах – легкая загрузка</li> <li>▪ на рессорах – полная загрузка</li> <li>▪ на пневмоподвеске – легкая загрузка</li> <li>▪ на пневмоподвеске – полная загрузка</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Товарный вагон – лёгкая/умеренная загрузка</li> <li>▪ Товарный вагон – тяжёлая загрузка</li> <li>▪ Контейнер – лёгкая/умеренная загрузка</li> <li>▪ Контейнер – тяжёлая загрузка</li> <li>▪ Вагон-платформа</li> <li>▪ Автомобиль на вагон-платформе</li> </ul> |
| <p>ВОЗДУШНЫЙ ТРАНСПОРТ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Винтомоторный</li> <li>• Турбореактивный</li> </ul>   | <p>МОРСКИЕ СУДА</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ С применением контейнеров</li> <li>▪ Без применения контейнеров</li> </ul> <p>ДРУГИЕ ВИДЫ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Гушевые повозки, погрузчики, конвейеры, тележки и т.д.</li> </ul>                                    |



1 Ударная установка типа ВСТС-450/1000



2 Стенды имитации транспортирования (электро-механические вибрационные испытательные установки)

Только по-настоящему «репрезентативные» испытания на воздействие случайной вибрации, правильно настроенные, можно считать «эквивалентным» способом. Установленная методология ускорения испытания на случайную вибрацию может быть использована для сжатия времени испытания путем надлежащего увеличения интенсивности испытания. Однако даже ускоренные испытания на случайную вибрацию не могут решить проблему переходных ударов, которые возникают вместе с вибрацией. Возможно, комбинированные испытания, состоящие из ускоренной случайной вибрации, переплетенной с хронологическим воспроизведением реалистичных транспортных ударных воздействий, дадут наиболее полный ответ.

### Выбор испытательного оборудования

Для воспроизведения условий транспортирования мы должны понимать, что одним ударным стендом не обойтись. В России широко используются ударные стенды ВСТС-450, -750, -1000 (рис 1).

Установки предназначены для испытаний продукции на прочность и устойчивость при воздействии механических ударов одиночного и многократного действия в лабораторных и производственных условиях (ударное ускорение до 1000 g, длительность ударного импульса до 30 мс, грузоподъемность (масса испытываемого образца) до 450, 750, 1000 кг соответственно).

Но что делать с небольшими изделиями и упаковками?

Для них используются электро-механические стенды и стенды транспортной тряски (рис 2), например, наиболее известные: это IDEX (Япония), особенность которых во встроенной системе управления; VS-5060M (Тайвань) – наиболее популярный стенд в РФ благодаря соотношению надёжности и стоимости; Кнауер (Германия) – с полосами частот 10-100 Гц и ускорением до 10 g. Конечно, есть и такое мнение, что электро-механические стенды тестируют только в очень ограниченной области спектра транспортной тряски и не воспроизводят истинные условия окружающей

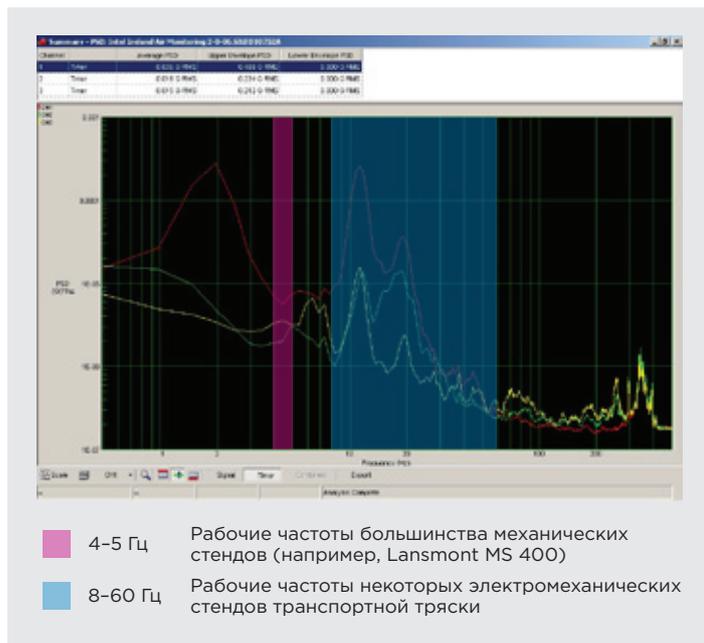
среды, которой подвергаются ваши продукты. И у них есть особенность в виде поперечных составляющих на верхних частотах. Как результат, при проведении тестов с частотами свыше 100 Гц приходится использовать электро-динамические вибростенды, а при тестах с частотами ниже 10 Гц – механические стенды. О них далее и пойдёт речь.

Отдельная категория – это механические стенды (рис 3). Стандартные механические стенды таких известных производителей как Lansmont (США), LAB (США) работают в диапазоне 2-5 Гц (чаще всего около 4,3-4,7 Гц, чтобы получить перегрузку чуть больше 1 g в соответствии со спецификацией ASTM D-999).

Кроме этих диапазонов, они тестируют на уровнях, которые слишком далеких от фактических данных, т.е. тестируются в области, где мы часто видим затухающие вибрации. На рис 4 показано наложение действия



3 Электро-механический стенд Lansmont MS 400



4

Наложение действия механических стендов относительно реальных данных

механических стендов относительно реальных данных. Эти стенды используются, например, для тряски автомобильных компонентов.

Даже электромеханические стенды, которые испытывают на частоте 8-60 Гц пропускают самый важный результат – частоты до 5 Гц, где находится большая часть энергии. Кроме того, даже если вы захватите эту частоту, вы все равно не сможете контролировать интенсивность настолько хорошо, чтобы воспроизвести реальные условия. Суть в том, что даже при проведении испытания на одном стенде (вибро- или ударном), все равно могут возникать повреждения упаковки и/или изделия при реальном транспортировании, хотя их не находят во время тестирования. С другой стороны, при тестировании в лаборатории возникают повреждения, которые никогда не возникнут во время транспортировки. Вот пример из практики: на одном из предприятий мы столкнулись с проблемой и долгое время не могли понять, что происходит с изделием, после того как его установили на самолет. Изделие прошло все виды предполетных испытаний и тесты. Но во время запуска изделия появлялись ошибки. Стали анализировать... Ответ оказался очень простым. Изделие крепилось на тележке и перемещалось по бетонному покрытию на аэродроме. Выяснилось, что во время такого движения на изделии воздействовала частота 5 Гц, которая является резонансной для конкретного изделия. И ранее никто это не проверял, так как думали, что изделие имеет определенный уровень добротности и первая гармоника где-то далеко. Вся «энергетика» была сосредоточена как раз на малых частотах.

Еще один вид оборудования – сервогидравлические испытательные вибрационные установки, которые

представляют собой гидравлические устройства. Применение гидравлики дает значительное преимущество по сравнению с другими аналогичными устройствами при испытаниях образцов с большими массами в низком диапазоне частот. За счет высокой выталкивающей силы эти вибростенды предназначены для проведения виброиспытаний крупногабаритных изделий с диапазоном частот от 1 до 500 Гц и поддержкой ускорения в 1g. Никакой другой тип вибрационных установок не способен обеспечить вибрационное воздействие на столь низких частотах. В России такие стенды представлены компаниями Lansmont (США), LAB (США). Стоимость этих стендов в разы выше, чем любых электромеханических. Тут вопрос в том, что мы хотим получить от испытаний, какую цель ставим, какую реальную картинку хотим увидеть и каков выделенный бюджет: готова ли компания накопить или изыскать средства, чтобы вложиться в перспективный продукт, или же приобретет любое оборудование для небольшого количества испытаний?

Отдельная категория испытательных стендов, таких как: Drop tester (стенд падения), Incline impact tester (стенд наклонного скольжения), Compression tester (стенд сжатия) и некоторые другие носят, скорее, корпоративный (предприятия, которым требуются нестандартные испытания) характер и широко не представлены в России. Данное оборудование служит в основном для проверки упаковки. В крупных мировых компаниях, например, Samsung, LG, L'Oréal существует четкая политика в области испытаний как упаковок, так и изделий. В стандартах предприятия прописаны даже точные названия оборудования. ▢

**Номенклатура и технология транспортной тряски очень обширны и многогранны. Универсального оборудования не существует – одним стендом не всегда возможно закрыть все поставленные задачи. Как раз для таких (и не только) случаев мы рекомендуем нашим заказчикам тщательно и ответственно подходить к выбору испытательного оборудования и всегда готовы помочь в этом. Стоимость испытательного оборудования исчисляется миллионами рублей, и если его правильно и максимально эффективно подобрать, то кроме корректного выполнения задачи по испытаниям вы получите и значимую экономию бюджета.**