

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВА КОМПАНИИ IMV

Павел Масич
Марат Кашапов

ВЫДЕРЖКИ ИЗ СТАНДАРТА MILL-STD-883F

СТАНДАРТ MILL-STD-883F METHOD 2005.2 ВИБРАЦИОННАЯ УСТАЛОСТЬ:

ЦЕЛЬ:

Испытания на вибрационную усталость проводятся с целью определения влияния вибрации на прочность и надежность изделия в заданном диапазоне частот.

ОБОРУДОВАНИЕ:

Оборудование должно обеспечивать необходимое вибрационное воздействие соответствующей интенсивности, типа и последующего неразрушающего контроля.

СТАНДАРТ MILL-STD-883F METHOD 2007.3 ИЗМЕНЯЕМАЯ ЧАСТОТА:

ЦЕЛЬ:

Испытания с изменяемой частотой (качанием частоты) проводятся для определения влияния вибрации на прочность компонентов и сборок в заданном диапазоне частот. Данные испытания относятся к классу разрушающих.

ОБОРУДОВАНИЕ:

Оборудование должно обеспечивать необходимое вибрационное воздействие соответствующей интенсивности, типа и последующего неразрушающего контроля.

СТАНДАРТ MIL-STD-883F METHOD 2007.3 ШИРОКОПОЛОСНАЯ СЛУЧАЙНАЯ ВИБРАЦИЯ

ЦЕЛЬ:

Испытания проводятся с целью определения устойчивости компонентов и сборок к воздействию широкополосной случайной вибрации (ШСВ), ограниченной заданным частотным диапазоном, имитирующей реальный профиль вибрации. ШСВ характерна для условий эксплуатации ракет, реактивных двигателей, жидкостных реактивных двигателей (ЖРД). В указанных случаях широкополосная случайная вибрация обеспечивает условия близкие к реальным. Тем не менее, для контроля на этапах разработки более информативным является испытания с изменяемой частотой.

ОБОРУДОВАНИЕ:

Оборудование должно обеспечивать широкополосную случайную вибрацию с нормальным распределением амплитуд («колокол» Гаусса) и значениями ускорения ограниченными доверительным интервалом в 3σ. Установка должна иметь возможность управления спектральной плотностью мощности. Система управления воздействием должна обеспечивать постоянство передаточной функции системы усилитель-контроллер во всём заявленном диапазоне частот.

Вибрация, удары, толчки являются неотъемлемой частью условий эксплуатации машин, механизмов, приборов и устройств. Ни для кого не секрет, что, за редким исключением, действие указанных факторов направлено на увеличение энтропии — старение материалов. Для изучения этой проблемы проводится огромное количество исследований явления вибрации. Множество фирм и научно-исследовательских центров предлагают методики анализа, оценки, классификации влияния динамических воздействий. Понятно, что самый лучший способ выяснить, как тот или иной вредный фактор влияет на изделие — эксплуатировать его в реальных условиях в течение всего срока службы. Но у данного решения, кроме очень важного и единственного достоинства, гораздо больше недостатков, прежде всего экономического, временного и функционального характера. В результате проблему влияния внешних воздействий разделяют на составляющие, определяют их вес для тех или иных конкретных условий и проводят целевые исследования по выбранным направлениям. Созданное для этого оборудование,

полно исследовать влияние вибрации при различных условиях эксплуатации.

К этим направлениям относятся:

1. Вибрационный шум
2. Усталость материалов
3. Разрушение при резонансе

Причинами конкретизации указанных направлений являются наличие характерных особенностей различных машин, механизмов, приборов и устройств, что соответственно требует определенного подхода в каждом случае.

В частности, в условиях все возрастающего разнообразия машин, механизмов, увеличения их мощности, возникает насущная проблема по снижению уровня вибрационного шума, что обеспечивается, в основном, применением соответствующих конструктивных решений.

В случае развития усталости материалов расчет механики сплошных сред превратился в необходимое, но недостаточное условие оценки прочности и надежности изделий в условиях сложного механического нагружения. Механика разрушения позволяет с некоторой точностью описать процесс зарождения, роста и распространения при разрушении усталостной трещины. Точность напрямую зависит от допущений при создании математической модели трещины усталости и условий определения эмпирических коэффициен-

тов. Здесь по своим возможностям мы приближаемся к чисто эмпирическим методам материаловедения, средствами которого можно описать механизмы роста трещины по факту и с определенной вероятностью предположить развитие событий. Испытания на усталость в таких случаях проводят, в соответствии с требованиями документов, при гармонической, случайной (так называемые розовый и белый шум), реальной вибрации по различным осям. В ходе таких испытаний, а также после их проведения, необходимо проводить контроль изделий на наличие внешних и структурных, т.е. явных и неявных дефектов.

Хорошо известно, что ресурс изделия существенно снижается, а напряжения в материалах и соединениях увеличиваются на порядки, при возбуждении внешним фактором в изделии резонанса. Для большинства изделий точное определение собственных частот является жизненно необходимой задачей. Существует множество косвенных аналитических и численных методов определения собственных частот деталей и конструктивных элементов. Но с ростом сложности объекта и невозможности учета всех особенностей изделий, точность (а иногда и адекватность) безусловно, снижается. В подобных случаях проще, экономичнее и, соответственно, целесообразнее проводить мероприятия по определению собственных резонансных частот изделия экспериментально. Полученные экспериментально данные при корректном проведении измерений больше соответствуют действительности, чем данные, полученные путем манипуляций с ее описанием. Далее на основе полученной информации проводится корректировка конструкции с целью изменения собственных резонансных частот изделия, или вносятся поправки в технические условия его эксплуатации, транспортировки и хранения.

Помимо вредного влияния вибрации при эксплуатации машин, механизмов и другой техники, известно много технических направлений, где она приносит пользу. Вибрация определенного уровня и типа применяется для определения передаточных функций, виброизолирующих свойств и динамических характеристик материалов. Вибрация широко используется в разных отраслях промышленности в качестве технологических операций. Это обработка железобетонных изделий, механическая очистка породы, виброочистка бурового оборудования, обработка металлов и сплавов, проката и т.д., вплоть до специальной технологии приготовления мясного фарша.

Оправдывая ожидания потребителей, ЗАО Предприятие ОСТЕК предлагает первоклассное оборудование для решения комплексных задач по оценке влияния вибрации.

ВИБРАЦИОННЫЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ КОМПАНИИ IMV

Обладая более чем полувековым опытом в разработке и производстве оборудования для проведения и исследовании динамических воздействий, компания IMV, Япония, занимает одно из ведущих мест на мировом рынке. Модельный ряд продукции компании IMV включает широкий спектр оборудования.

Вибрация и удары применяется для комплексной оценки надежности при производстве практически всех изделий. Существует множество различных видов вибрации: от пространственной произвольной реальной до одноосной гармонической.

С учетом всех этих факторов для компаний, занимающихся производством машин, создающих вибрацию, возникает ответственная задача по формированию модельного ряда, который с одной стороны должен покрывать все возможности по применению и отвечать специальным требованиям, а с другой стороны, должен обладать хорошими возможностями по унификации, универсальности, эффективности и функциональности. Разные компании по-разному подходят к решению данной проблемы, расставляют акценты на различные аспекты и ориентируются на различные задачи. Немногие фирмы-производители предлагают оборудование сразу для всех областей применения.

Для того чтобы предлагать такой широкий спектр оборудования, разработчик должен обладать серьезными заделами в этом направлении деятельности. Это и опыт, полученный за годы разработки, производства и эксплуатации продукта. Это и оригинальные инженерные и конструкторские решения, выгодно отличающие «фирменные» изделия от остальных аналогов. Это и высокое качество продукта, слагающееся из ответственности на каждом этапе и уровня производства. Это и гармоничная гибкая политика компании, обеспечивающая обратную связь по всем подразделениям и позволяющая чутко реагировать на все изменения в промышленности и появлении новых технологий, материалов и открытий науки.

С момента основания коллектив IMV успешно справлялся со всеми текущими и «произвольными случайными» и «ударными» задачами, что позволило занять прочное место на мировом рынке динамического испытательного оборудования. Компания состоит из нескольких офисов в Токио, Осаке, Нагое, производственного комплекса в Осаке и производственного комплекса метрологического вибрационного оборудования в Токио. Головной офис компании находится в Осаке. Компания имеет в своем распоряжении научно-исследовательский центр вибрации.

В данной статье будет детально рассмотрен модельный ряд испытательных вибрационных установок.

Для простых демонстрационных испытаний и испытаний миниатюрных образцов разработана специальная серия «настоенных» вибраторов. Их малые размеры подчеркивает и уменьшительно-ласкательное

Рис. 1. Малые настольные вибрационные электродинамические уста-



«фирменное прозвище» «РЕТ», что можно перевести как «наши меньшие друзья». Малые настольные вибрационные электродинамические установки серии «РЕТ» используются для проведения испытаний миниатюрных изделий массой от 100 грамм до 5 кг. (рис. 1).

Очень часто в случае малых и средних образцов, их массогабаритные показатели обладают следующими особенностями: при малой массе имеют относительно большие размеры. Применение специальных расширителей в данном случае не всегда оправданно (как правило, неоправданно), так как такая мера уменьшит эффективность характеристик, а в некоторых случаях потребует увеличения типоразмера актюатора. Поэтому в линейке появились актюаторы с увеличенным вибростолом. В результате сохраняются параметры и отпадает необходимость в связывающих выталкивающее усилие план-шайбах и переходниках. В этом случае, для проведения виброиспытаний небольших образцов, для которых необходимы увеличенные присоединительные площадки, разработаны малые виброустановки с увеличенным вибростолом. Они обеспечивают виброускорение для ненагруженного вибростола — до 490 м/с², выталкивающее усилие — до 980 Н.

Хорошо известно, что чем меньше деталь, тем выше ее собственная частота, и тем более актуальной и жизненно важной становится необходимость проверить прочность изделия в условиях резонанса и оценить его поведение на высоких частотах. Для этой цели компания предлагает малые настольные вибрационные установки с увеличенным диапазоном частот — до 15 кГц (рис. 2). Пример таких испытания — испытания на резонанс турбинных лопаток.

Рис. 2. Малые настольные вибрационные установки с увеличенным диапазоном частот



Линейка продукции для среднегабаритных и крупногабаритных изделий представлена еще большим разнообразием моделей.

Среди них конвенциональные виброустановки со стандартными характеристиками — серия «VS». Они рассчитаны на испытания средне- и крупногабаритных образцов. Вибростенды серии «VS» самые распространенные модели общего назначения. Они очень хорошо зарекомендовали себя в различных вариантах виброиспытаний: от простых синусоидальных одноосных испытаний до испытаний в условиях сложной пространственной вибрации. Высокая надежность, прове-

функциональность и простота в обращении — вот основные достоинства этих систем (рис. 3).

Технические характеристики моделей охватывают широкий диапазон «параметрического» пространства.

Выталкивающее усилие от 1,17 до 392 кН,
Диапазон частот от 5 до 4500 Гц,
Размах виброперемещений от 25 до 100 мм
Максимальная виброскорость до 2,0 м/с
Максимальное виброускорение до 117 G

Мощные установки с усилием более 30 кН оснащаются водяным охлаждением.

С повышением требований по надежности к товарам народного потребления (класса С) и с увеличением интенсивности вредных механических воздействий при транспортировке (из-за увеличения скоростей и ускорений, возрастания вероятностей толчков и ударов, на которые «способны» современные транспортные средства) возникает насущная задача обеспечить заданный уровень надежности и для этих изделий. Разработано множество методик имитации механических условий транспортировки вплоть до использования реального профиля вибрации на установках пространственной вибрации. Как правило, количество степеней свободы в этом случае увеличивается про-

и стоимости системы. Кроме этого обычно готовое, упакованное изделие имеет относительно большие размеры и высоко расположенный центр тяжести. При таких условиях довольно трудно обеспечить заданный допуск расположения центра тяжести и оси актюатора. По этой причине, а также по причине массивности упакованного готового изделия, возникает опрокидываю-

подвижных частей и на нижние опоры. В результате может быть превышен предел текучести материалов деталей арматуры (возникшая необратимая деформация сделает эксплуатацию установки невозможной, так как нарушится симметрия подвижных частей). Кроме того, нижние направляющие подвески подвергнутся быстрому износу и досрочно выйдут из строя. Поэтому для подобных испытаний предлагается установка с усиленной конструкцией подвески, рассчитанной на большие опрокидывающие моменты. В качестве оборудования, имитирующего условия транспортировки для габаритных изделий и изделий с несимметричным центром тяжести разработчики IMV представляют установки серии «CV» (рис. 4). Они обеспечивают диапазон частот до 2 кГц, направляющие вибратора рассчитаны на опрокидывающий момент до 686 Нм.

Для некоторых видов испытаний и при реализации записи вибрационного профиля, возникает необходимость в больших виброскоростях и перемещениях. Например, в случае испытаний на надежность изделий со специальными требованиями, основным задающим условием для которых является виброскорость или виброперемещение. В этом случае, когда необходимо реализовать воздействия с большим размахом перемещений колебаний (до 100 мм) и виброскоростью 2.4 м/с, предлагаются модели серии «J» (рис. 5). Обеспечиваемое ими выталкивающее усилие — от 14 до 49 кН.

Следующая группа вибрационного оборудования — средние вибрационные установки с улучшенными показателями (установки серии I).

При их проектировании был использован богатый опыт и проверенные временем техни-

Рис. 3. Вибрационные испытательные установки серии «VS»



ческие решения серии «VS» и новейшие достижения науки и техники в различных смежных областях. Для упрощения работы с этим оборудованием была унифицирована конфигурация присоединений вибростолов. Кроме того, существенно увеличена прочность узлов подвески подвижных частей. В результате IMV представила усовершенствованные установки с повышенными «удельными» показателями. В случае необходимости использования в составе комбинированных систем, предусмотрена возможность прямого соединения с климатической камерой и унифицировано расположение присоединительных отверстий (рис. 6).

Указанные установки имеют следующие технические характеристики:

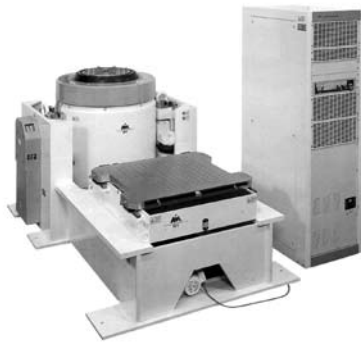


Рис. 4. Вибрационные испытательные установки серии «3000»



Рис. 5. Вибрационные испытательные установки серии «j»

Выталкивающее усилие от 1,17 до 54 кН,
Диапазон частот от 5 до 4000 Гц,
Размах виброперемещений от 30 до 51 мм
Максимальная виброскорость до 2,2 м/с
Максимальное виброускорение до 125 G

Для условий мелко- и среднесерийного производства небольших ответственных деталей массой до 10 килограмм, а также для условий небольших лабораторий разработан компактный трёхкоординатный вибрационный тестер. Тестер обеспечивает проведение последовательной трехосной вибрации. Режимы испытаний и чередование осей задается программно. Предусмотрено единое и компактное исполнение всех устройств в одном корпусе. Удобная, интуитивно понятная панель управления встроена в корпус (рис. 7).

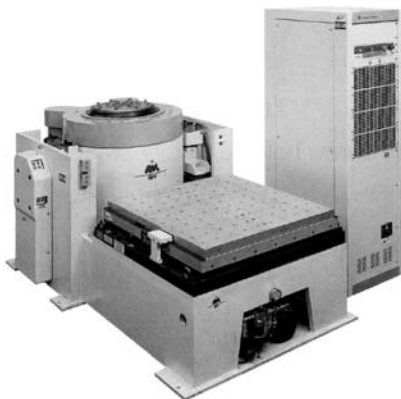


Рис. 6. Вибрационные испытательные установки серии «I»

Этот аппарат обладает широким спектром возможностей. Он может использоваться для оценки качества и надежности изделий на предельных нагрузках, симуляционных испытаний и стимуляции дефектов при отладке технологических процессов. Кроме того, имеется возможность исполнения с климатической камерой.

Для приемосдаточных, отбраковочных, периодических испытаний ответственных изделий в сборе или узлов, отличающихся крупными габаритами и массой, и для которых выход на горизонтальный участок кривой отказов является необходимым условием, компания IMV предлагает установки многоосной последовательной и синхронной пространственной вибрации.

Установки многоосного одновременного вынуждающего воздействия предназначены по большей части для воспроизведения реальных механических воздействий (однако, это не исключает возможности качественного и эффективного проведения испытаний синусоидальным, ударным профилем). Системы позволяют реализовывать одновременное вынуждающее воздействие в любом направлении (до 6 степеней свободы). Предусмотрены модели с конструктивным



Рис. 7. Тестер MACS II

вынуждающего воздействия. Кроме того, для обеспечения высокой точности воспроизведения формы колебаний предусмотрено специальное

программно-аппаратное средство компенсации паразитных поперечных помех. Подавление паразитных

вибрации в направлении данной оси. В этих установках эффективности использования усилия и качеству проведения испытания способствует высокая жесткость подвижных частей и применение гидростатических подшипников высоких классов точности.

Установки многоосного последовательного вынуждающего воздействия существенно повышают эффективность и валидность проводимых испытаний по сравнению с одноосными в случае испытаний образцов последовательно по нескольким направлениям. При этом нет необходимости в переустановке образца для изменения направления воздействия. Направление

В этом случае при испытаниях с системой управления

вибрации происходит автоматически в соответствии с заданной программой. Отсутствие переустановок, смены креплений исключают случайные факторы, и позволяет очень точно и качественно регулировать интенсивность воздействия. Как и в случае с машинами пространственной вибрации, последовательные установки оборудованы гидростатическими подшипниками высоких классов точности, что существенно повышает жесткость подвижных частей.

В этом оборудовании также имеются возможности прямого совмещения установок последовательной и синхронной пространственной вибрации и климати-