

# ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ КОМПАНИИ IMV

Более чем полувековой опыт в разработке и производстве оборудования для испытаний и исследования динамических воздействий позволяет японской компании IMV удерживать одно из ведущих мест на мировом рынке такого оборудования. Компания предлагает широкий модельный ряд установок – от настольных вибрационных для миниатюрных изделий до мощных комбинированных с климатической камерой. Оборудование IMV характеризуется гибкостью и универсальностью, простотой и многофункциональностью, что позволяет использовать его для любых изделий и видов испытаний.

## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ОТ ЗАО "ПРЕДПРИЯТИЕ ОСТЕК" – ДИСТРИБЬЮТОРА IMV

Компании-производители испытательного оборудования решают ответственную задачу. Им нужно создавать модельный ряд, который был бы высокофункциональным и отвечал специальным требованиям, но при этом оставался бы универсальным и эффективным в различных областях. В основном фирмы выпускают установки для отдельных видов испытаний, и только немногие производители предлагают оборудование для широкого применения.

Компания IMV состоит из нескольких офисов в Токио, Осаке (главный офис), Нагое, производственного комплекса в Осаке и производственного комплекса метрологического вибрационного оборудования в Токио. Компания имеет в своем распоряжении научно-исследовательский центр вибрации. В предлагаемой статье описан модельный ряд электродинамических испытательных установок.

П.Масич, М.Кашапов

## ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ВИБРАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

Для демонстрационных испытаний и испытаний миниатюрных образцов разработана специальная серия настольных вибраторов. Их малые размеры подчеркивает и уменьшительно-ласкательное фирменное прозвище *PET*, что можно перевести как "наши меньшие друзья". Малые настольные вибрационные электродинамические установки серии *PET* используются для проведения испытаний миниатюрных изделий массой от 100 г до 5 кг (рис.1).

Для проведения испытаний изделий с малой массой и относительно большими размерами фирма предлагает малые виброустановки с вибростолом больших размеров (раньше для этого применялись специальные присоединительные площадки, которые усложняли конструкцию вибростола и снижали эффективность измерений вибрационных характеристик). Установки обеспечивают виброускорение для ненагруженного вибростола до  $490 \text{ м/с}^2$ , выталкивающее усилие – до 980 Н.

Для проверки прочности изделия в условиях резонанса и оценки его поведения на высоких частотах (например, испытания на резонанс турбинных лопаток) компания предлагает малые настольные вибрационные установки с увеличенным диапазоном частот – до 15 кГц (рис.2).

Для испытаний средне- и крупногабаритных изделий фирма IMV представляет несколько моделей. Среди них кон-



Рис.1. Малые настольные вибрационные электродинамические установки серии *PET*



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

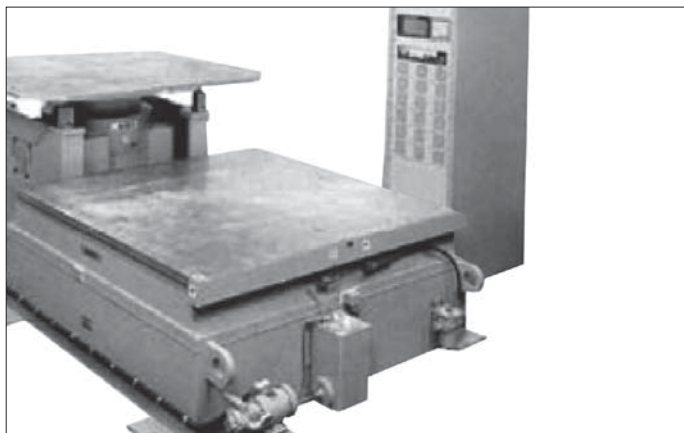
венционные виброустановки со стандартными характеристиками – *серия VS* (рис.3). Это самые распространенные модели общего назначения. Они хорошо зарекомендовали себя в различных виброиспытаниях: от простых синусоидальных одноосных до испытаний в условиях сложной пространственной вибрации. Высокая надежность, проверенная временем, отработанная конструкция, многофункциональность и простота в обращении – вот основные достоинства этих систем.

**Технические характеристики установок серии VS**

- 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 выталкивающим усилием более 30 кН оснащаются водяным охлаждением.

С повышением требований по надежности к товарам народного потребления и с увеличением интенсивности вредных механических воздействий при транспортировке (из-за высоких скоростей и ускорений, возрастания вероятности толчков и ударов) появляется задача обеспечить заданный высокий уровень надежности этих изделий. Более того, упакованное изделие имеет относительно большие размеры и высоко расположенный центр тяжести, и поэтому трудно обеспечить заданный допуск расположения центра тяжести



**Рис.3. Вибрационные испытательные установки серии VS**

**ВЫДЕРЖКИ ИЗ СТАНДАРТА MILL-STD-883F**

**СТАНДАРТ MILL-STD-883F. МЕТОД 2005.2. ВИБРАЦИОННАЯ УСТАЛОСТЬ**

**ЦЕЛЬ**

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

**ОБОРУДОВАНИЕ**

Оборудование должно обеспечивать необходимое вибрационное воздействие соответствующей интенсивности, вида и последующий неразрушающий контроль.

**СТАНДАРТ MILL-STD-883F МЕТОД 2007.3 ИЗМЕНЯЕМАЯ ЧАСТОТА**

**ЦЕЛЬ**

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

**ОБОРУДОВАНИЕ**

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

**СТАНДАРТ MIL-STD-883F МЕТОД 2007.3 ШИРОКОПОЛОСНАЯ СЛУЧАЙНАЯ ВИБРАЦИЯ**

**ЦЕЛЬ**

Испытания проводятся для 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. В указанных случаях широкополосная случайная вибрация обеспечивает условия, близкие к реальным. Тем не менее, для контроля на этапах разработки более информативными являются испытания с изменяемой частотой.

**ОБОРУДОВАНИЕ**

Оборудование должно обеспечивать ШСВ с нормальным распределением амплитуд ("колокол" Гаусса) и значениями ускорения, ограниченными доверительным интервалом 3σ, иметь возможность управления спектральной плотностью мощности. Система управления воздействием должна обеспечивать постоянство передаточной функции системы усилитель – контроллер во всем заявленном диапазоне частот.

и оси актюатора. Вследствие этого может возникнуть опрокидывающий момент, который передается на центральный винт подвижных частей и на нижние опоры установки. Результатом станет превышение предела текучести материалов, из которых изготовлены детали арматуры. Необратимая деформация сделает невозможной эксплуатацию установки, так как нарушится симметрия подвижных частей. Кроме того, нижние направляющие подвески подвергнутся быстрому износу и досрочно выйдут из строя. Поэтому для подобных испытаний предлагаются установки с усиленной конструкцией подвески, рассчитанной на большие опрокидывающие моменты. Оборудование, имитирующее условия транспортировки для габаритных изделий и изделий с несимметричным центром тяжести, представлено установками *серии CV* (рис. 4), которые обеспечивают диапазон частот до 2 кГц и рассчитаны на опрокидывающий момент до 686 Нм.



**Рис.4. Вибрационные испытательные установки серии CV**

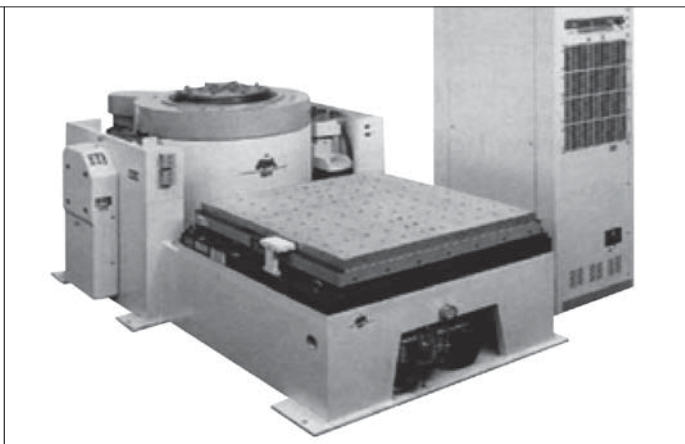
Для испытаний изделий, к которым предъявляются специальные требования по диапазону виброскоростей или виброперемещений, предлагаются установки *серии J* (рис.5). Их технические характеристики: размах колебаний – до 100 мм, виброскорость – 2,4 м/с, выталкивающее усилие – от 14 до 49 кН.

Следующая группа вибрационного оборудования – средние вибрационные установки с улучшенными показателями *серии I* (рис.6). При их проектировании были использованы проверенные временем технические решения установок *серии VS* и новые достижения науки и техники в смежных областях. Для того чтобы упростить работу с этим оборудованием, была унифицирована конфигурация присоединений вибростолов. Кроме того, существенно увеличена прочность узлов подвески подвижных частей. Для работы в составе комбинированных систем предусмотрена возможность прямого соединения установки *серии I* с климатической камерой и унифицировано расположение присоединительных отверстий.

**Технические характеристики установки серии I**

- 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 небольших изделий мелко- и среднесерийного производства массой до 10 кг, а также для небольших лабораторий



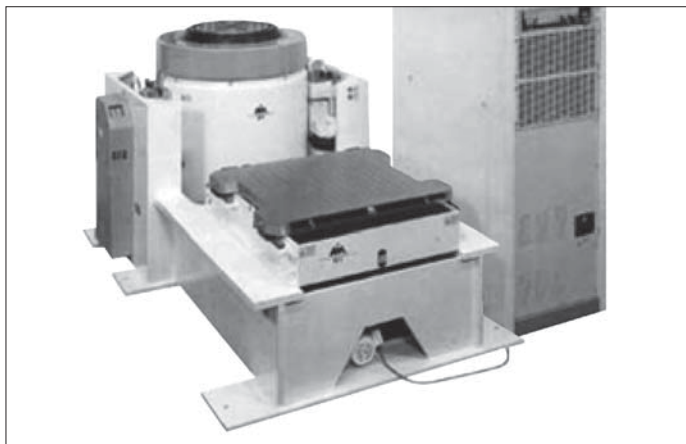
**Рис.6. Вибрационные испытательные установки серии I**

разработан компактный трехкоординатный вибрационный тестер *MACS II* (рис.7). Он позволяет проводить последовательную трехосную вибрацию. Режимы испытаний и чередование осей задаются программно. Предусмотрено единое и компактное исполнение всех устройств в одном корпусе. Простая и удобная панель управления встроена в корпус.

Тестер пригоден для оценки качества и надежности изделий при предельных нагрузках и при отладке технологических процессов. Кроме того имеется вариант исполнения с климатической камерой.

Для приемосдаточных, отбраковочных, периодических испытаний специальных изделий в сборке или для узлов с большими габаритами и массой, 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 должны воспроизводить реальные механические воздействия (однако их можно применять и для эффективного проведения стандартных испытаний на вибростойкость и ударные нагрузки). Системы позволяют реализовывать одновременное вынуждающее воздействие в любом направлении (до шести степеней свободы). Созданы модели с конструктивным многоточечным приложением вынуждающего воздействия. Для высокой точности воспроизведения формы



**Рис.5. Вибрационные испытательные установки серии J**



**Рис.7. Тестер MACS II**





колебаний, предусмотрено специальное программно-аппаратное средство компенсации паразитных поперечных помех. Подавление паразитных помех позволяет сформировать точный профиль вибрации в направлении данной оси. В этих установках жесткость подвижных частей и наличие гидростатических подшипников высоких классов точности дает возможность провести действительно качественное испытание.

Если применить установки многоосного последовательного вынуждающего воздействия при испытаниях образцов последовательно по нескольким направлениям, то не нужно переустанавливать образец, чтобы изменить направление воздействия (направление воздействия просто переключается на селекторе). Изменение направления вибрации происходит автоматически в соответствии с заданной программой. Отсутствие переустановок и смены креплений исключает 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.

Оборудование также дает возможность прямого совмещения установок последовательной и синхронной пространственной вибрации и климатических камер температуры/влажности.

Выталкивающее усилие установок – от 2,9 до 58,8 кН по каждой оси, диапазон частот – до 500 Гц.

*Комбинированные испытательные установки* очень эффективны в выявлении дефектов и с максимальным приближением создают реальные условия воздействия окружающей среды.

Специалисты IMV предлагают три варианта компоновки вибрационной установки с климатической камерой: расположение вибратора в камере, использование соединительного штока и непосредственное расположение торца вибратора в днище камеры. Каждый из вариантов имеет свои особенности.

*Первый вариант* позволяет исключить влияние конструктивного отверстия в панелях камеры и сохранить параметры в камере на заданном уровне. Это практически единственный вариант, когда климатические испытания можно провести параллельно с испытаниями на вибрацию. В этом случае, однако, класс надежности актюатора должен находиться, по крайней мере, на том же уровне, что и класс испытуемого изделия, так как актюатор будет подвергаться тем же воздействиям. Необходимо учитывать и то, что актюатор активно излучает тепло, а это, в свою очередь, влияет на распределение параметров окружающей среды в зоне испытаний. В подобном случае следует внести некоторые коррективы в систему управления параметрами воздействия камеры.

*Второй вариант* – внешнее расположение актюатора. Воздействие передается на образец через шток. Параметры в камере зависят от небольшого зазора между штоком и конструктивным отверстием. Однако шток при обеспечении необходимой передаточной функции от актюатора к образцу должен быть достаточно жестким и, как правило, он довольно массивен. Таким образом, он "съедает" солидную часть выталкивающего усилия. Способ применим для испытаний образцов относительно небольших типоразмеров.

*Третий вариант* – компромисс первых двух. Он заключается в том, что в камере делается большое конструктивное отверстие – под размер торца корпуса актюатора. В результате взаимовлияние актюатора и рабочей зоны камеры снижается на несколько порядков по сравнению с первым вариантом. Это решение позволяет эффективно использовать выталкивающее усилие.

При проведении виброиспытаний особое внимание необходимо уделять креплению образцов к вибростолу. Оснастка для крепления должна обладать необходимой жесткостью и малым весом. IMV предлагает разные приспособления: полусферические, Т-образные, L-образные, кубические, коробчатые, горизонтальные и вертикальные расширители.

Для испытаний, требующих максимальной точности, предусмотрены оснастка и расширители, рассчитанные на заданные режимы и различную конфигурацию присоединительных отверстий.

Во всех сериях виброустановок (кроме настольных и малых) есть вариант исполнения со скользящим (горизонтальным) вибростолом.

Довольно часто к испытательному оборудованию предъявляются требования по уровню передачи вибрации. В этом случае оптимально использовать резиновые прокладки, поглощающие вибрацию. При более жестких требованиях по виброизоляции вибростенд может быть установлен на пневмоподушки (под каждую из опор). Для демпфирования воздействия на корпус вибратора также применяют пневмоподушку. Наряду с демпфированием подушка выполняет функцию выравнивания положения вибростола. Специальное устройство, состоящее из датчика положения и регулятора давления в пневмоподушке, выставляет стол в нужное положение.

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВИБРАЦИОННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ**

Инженеры компании IMV разработали ряд моделей контроллеров, позволяющих реализовать основные типы вибрационных воздействий. Такой контроллер выполняет следующие функции:

- устанавливает определенный тип воздействия с заданными параметрами: широкополосной случайной вибрации (ШСВ), синусоидального воздействия, ударного воздействия, а также их комбинаций – случайного синусоидаль-

ного воздействия и случайного задания широкополосной случайной вибрации. Воздействия могут изменяться в соответствии с характером и особенностями испытаний. Например, для ускоренных отбраковочных испытаний в условиях производственного процесса подается произвольная широкополосная вибрация без обратной связи. При определении резонанса частота вынуждения меняется непрерывно. В отдельных случаях устанавливаются ограничения на некоторые параметры;

- обеспечивает устойчивость заданного режима работы и при возникновении возмущений с помощью обратных связей и специальных регуляторов "держит" параметры в заданных пределах с точностью до ошибки регулирования. Например, при прохождении собственных частот механической системой "образец-приспособление-подвижная часть актюатора" возникает нежелательный резонанс. Резонанс может как совпадать по фазе с вынужденной частотой, так и быть противоположным ей. В случае совпадения частот через акселерометры обратной связи вводится поправка на приводящий сигнал с усилителя, и ток, подаваемый на актюатор, уменьшается. В случае противоположных направлений колебаний амплитуда уменьшается и для сохранения заданных параметров нужно подавать на актюатор более мощный сигнал, а в случае превышения током допустимых значений – включать защитные и предохранительные устройства;
- позволяет обрабатывать полученную в ходе испытаний информацию;
- обеспечивает единство формата данных, обмен ими, их запись, позволяет использовать записанные данные как справочные или применяет их в качестве входных, а также может их редактировать: изменять параметры, соединять разные "куски" записей и монтировать "вибrolенту";
- обладает возможностью удаленного контроля. Мощные высокопроизводительные машины способны передавать сообщения о статусе испытаний по заданным электронным адресатам и создавать электронные отчеты по текущим и конечным результатам испытаний.

В управляющих системах есть режим, который обеспечивает "самостоятельную" работу электродинамического стенда. Данные контроллеры имеют собственную панель управления и жидкокристаллический дисплей. На дисплее графически отображаются параметры воздействия (амплитуды ускорений, размах колебаний, амплитуды скоростей) – в зависимости от частоты в логарифмических координатах. Подключение к персональному компьютеру осуществляется посредством интерфейса GP-IB. Система управления одноосной вибрацией RC-1120 представлена на рис.8. С помощью специальных программных пакетов система обрабатывает и записывает вибрационный профиль, определяет собственные частоты и проводит испытания изделий в условиях резонанса.

Еще одной управляющей системой является 64-канальная



**Рис.8. Система управления одноосной вибрацией RC-1120**

система управления вибрационным воздействием (контроллер) K2. Это мощное средство, формирующее синусоидальный, широкополосный случайный профиль вибрации и ударные воздействия. Контроллер обладает всеми аппаратными и программными возможностями для проведения всех видов испытаний на вибрацию и ударные нагрузки: задание ограничений, качание частоты, испытания в условиях резонанса, задание ограничений по спектральной плотности мощности, воздействие синусоидальной вибрации и т.д. Система имеет модульную структуру, т.е. конфигурация и количество каналов (рис. 9.) выбираются в соответствии с предъявляемыми требованиями.



**Рис.9. Система управления одноосной вибрацией. Модель K2**

Для более простых случаев предусмотрен упрощенный двухканальный контроллер на базе K2 – K2 Sprint.

Самой сложной управляющей системой можно назвать многоканальную систему управления пространственной вибрацией. Она предназначена для многоцелевого анализа и управления вибрацией вплоть до шести степеней свободы, оснащена различными специализированными аппаратными и программными средствами, с помощью которых можно исследовать и задавать вибрационные и ударные воздействия (рис.10).

Для более простых случаев предусмотрен упрощенный контроллер на базе F2 – F2 Junior.



**Рис.10. Система управления пространственной вибрацией. Модель F2**

### **УСИЛИТЕЛЬ**

Это устройство обеспечивает усиление входного управляющего сигнала для вибратора. Оно имеет модульную структуру, которая позволяет существенно упростить и унифицировать конструкцию. Модули устанавливаются в стойку. Каждый модуль имеет выходную мощность 100 кВА. Управление модулем осуществляется широтно-импульсной модуляцией с отрицательной обратной связью по току. В одном усилителе можно устанавливать до пяти модулей с общей выходной мощностью 500 кВА (рис.11).

Компания IMV предлагает широкий ассортимент продукции, которая отвечает всем современным требованиям по функциональности, надежности, экономичности и экологич-



**Рис.11. Усилитель и силовой модуль**

ности. Все серии оборудования ориентированы на характерные особенности испытываемых групп образцов и изделий. Специалистами компании проведен анализ и статистическая обработка по широкой номенклатуре изделий, подвергающихся вибрационным воздействиям, проанализированы особенности вибрационного воздействия при производстве, транспортировке и хранении. Модельный ряд оборудования обладает гибкостью и универсальностью, простотой и функциональностью, что позволяет использовать его для любых изделий и видов испытаний. ○