



Электродинамические испытательные установки производства компании IMV

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 — старения материалов. Для изучения этой проблемы проводится огромное количество исследований явления вибрации. В данной статье будет детально рассмотрен модельный ряд испытательных вибрационных установок.

**Павел Масич
Марат Кашапов**

testf@ostec-smf.ru

Множество фирм и научно-исследовательских центров предлагают методики анализа, оценки, классификации влияния динамических воздействий. Понятно, что самый лучший способ выявить, 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, имитирующее реальные условия, позволяет наиболее 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 является 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 усталост-

ной трещины. Точность напрямую зависит от допущений при создании математической модели трещины усталости и условий определения эмпирических коэффициентов. 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 шумы), реальной вибрации по различным осям. В ходе указанных испытаний, а также после их проведения необходимо выполнять контроль изделий на наличие внешних и структурных, то есть явных и неявных дефектов.

Хорошо известно, что ресурс изделия существенно снижается, а напряжения в материалах и соединениях увеличиваются на порядки, когда внешний фактор возбуждает в изделии резонанс. 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.

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 (качением 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 являются испытания с изменяемой частотой.

Оборудование

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

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 распознавания передаточных функций, виброизолирующих свойств и динамических характеристик материалов. Вибрация широко используется в разных отрас-

лях 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 применяются 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 — обладать хорошими возможностями по унификации, универсальности, эффективности и функциональности. Компании по-разному подходят к решению данной проблемы, расставляют акценты на аспекты и ориентируются на те или иные задачи. Немногие фирмы-производители предлагают оборудование сразу для всех областей применения.

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

С момента основания коллектив IMV успешно справлялся со всеми текущими, «произвольными случайными» и «ударными» задачами, что позволило компании занять прочное место на мировом рынке динамического испытательного оборудования. Компания состоит из нескольких офисов в Токио, Осаке, Нагое, производственного комплекса в Осаке и про-

изводственного комплекса метрологического вибрационного оборудования в Токио. Головной офис компании находится в Осаке. IMV имеет в своем распоряжении научно-исследовательский центр вибрации.

Для простых демонстрационных испытаний и испытаний миниатюрных образцов разработана специальная серия настольных вибраторов. Их малые размеры подчеркивает и уменьшительное 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).



Рис. 1. Малые настольные вибрационные электродинамические установки серии PET

Очень часто в случае малых и средних образцов их массо-габаритные 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 подобная 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 планшайбах и переходниках. В этом случае для проведения виброиспытаний небольших образцов, для которых требуются 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



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

до 15 кГц (рис. 2). Пример таких испытаний — испытания на резонанс турбинных лопаток.

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, проверенная временем, хорошо отработанная конструкция, функциональность и простота в обращении — вот основные достоинства этих систем (рис. 3).



Рис. 3. Вибрационные испытательные установки серии VS

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 ускорение 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 обеспе-

чить определенный 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 пропорционально требованиям по надежности, сложности и стоимости системы. Кроме того, 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 актуатора. По этой причине, а также по причине массивности упакованного готового изделия возникает опрокидывающий момент. Момент передается на центральный винт подвижных частей и на нижние опоры. В результате может быть превышен предел текучести материалов деталей арматуры (возникающая необратимая деформация делает эксплуатацию установки невозможной, так как нарушится симметрия подвижных частей). К тому же 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. 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 Н·м.



Рис. 4. Вибрационные испытательные установки серии CV

Для некоторых видов испытаний и при реализации записи вибрационного профиля возникает потребность в больших виброскоростях и перемещениях. Например, при испытаниях на надежность изделий со специальными требованиями, основным задающим условием



Рис. 5. Вибрационные испытательные установки серии J

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 технические 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. При необходимости использования в составе комбинированных систем предусмотрена возможность прямого соединения с климатической камерой и унифицировано расположение присоединительных отверстий (рис. 6).



Рис. 6. Вибрационные испытательные установки серии I

Указанные установки имеют следующие технические характеристики:

- 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 ускорение до 125 g.

Для условий мелко- и среднесерийного производства небольших ответственных деталей массой до 10 кг, а также для условий небольших лабораторий разработан компактный трехкоординатный 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. 7. Тестер MACS II

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 приемодаточных, отбраковочных, периодических испытаний ответственных изделий в сборе или узлов, отличающихся крупными габаритами и массой, и для которых выход на горизонтальный участок кривой откликов 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 многоточечным приложением вынуждающего воздействия. Кроме того, для обеспечения высокой точности воспроизведения формы колебаний имеется специальное программно-аппаратное средство компенсации паразитных поперечных помех. Подавление паразитных помех позволяет сформировать очень точный профиль 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 последовательно вынуждающего воздействия существенно повышают эффективность и валидность проводимых испытаний по сравнению с одноосными при испытании образцов последовательно по нескольким направлениям. При этом нет необходимости в переустановке образца для изменения направления воздействия. Направление воздействия просто переключается на селекторе. В этом случае при испытаниях с системой управления вибрационным воздействием изменение направления вибрации происходит автоматически в соответствии с заданной программой. Отсутствие переустановок, 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.

В этом оборудовании также имеются возможности прямого совмещения установок последовательной и синхронной пространственной вибрации и климатических камер температуры/влажности.

Краткие технические характеристики систем:

- выталкивающее усилие от 2,9 до 58,8 кН по каждой оси;
- диапазон частот до 500 Гц.

Большой эффективностью по выявлению дефектов и приближению к воздействиям условий окружающей среды отличаются комбинированные испытательные установки.

Специалисты IMV предлагают три варианта компоновки актюатора 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. Однако класс надежности актюатора должен находиться по крайней мере на том же уровне, что и класс испытываемого изделия, так как актюатор будет подвергаться тем же воздействиям. Следует учитывать и то, что актюатор активно излучает тепло, что в свою очередь повлияет на распределение параметров окружающей среды в зоне испытаний. В данном случае в качестве необходимой меры вносятся некоторые коррективы в систему управления параметрами воздействия камеры.

Второй вариант — внешнее расположение актюатора. Тогда 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, получается довольно массивным. Таким образом, он «съедает» солидную часть выталкивающего усилия. Описанный способ характерен для испытаний образцов относительно небольших типоразмеров.

Третий вариант — компромисс первых двух. Он заключается в том, что в камере конструктивное отверстие выполняется большим — под размер торца корпуса актюатора. В результате взаимовлияние актюатора и рабочей зоны камеры уменьшено на порядки по сравнению с первым вариантом. Это конструктивное предложение позволяет эффективно использовать выталкивающее усилие.

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

Для более эффективного и точного проведения испытаний предусмотрены оснастка и расширители, рассчитанные на заданные режимы, различную конфигурацию присоединительных отверстий. Для рационального использования выталкивающего усилия также предлагаются приспособления из легких сплавов.

Для всех серий виброустановок (кроме настольных и малых) предусмотрена возможность исполнения со скользящим (горизонтальным) вибростолом.

Довольно часто к испытательному оборудованию предъявляются требования по уровню передачи реакции на место установки. При этом оптимальным считается соотношение простоты и эффективности — использование резиновых, поглощающих вибрацию прокладок. При более жестких требованиях по виброизоляции вибростенд может быть установлен на пневмоподушки под каждую из опор. Для демпфирования воздействия на корпус вибратора также может использоваться пневмоподушка. 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 — контроллер

Инженерами компании IMV разработан ряд моделей контроллеров, позволяющих реализовать основные типы вибрационных воздействий. В задачу контроллера входят следующие функции.

Во-первых, задание определенного типа воздействия с конкретными параметрами: широкополосной случайной вибрации (ШСВ), синусоидального воздействия, ударного воздействия, а также их комбинаций — синусоидального воздействия и задания широкополосной случайной вибрации. Воздействия могут прерываться те или иные изменения

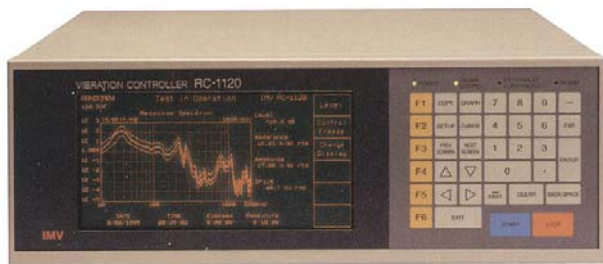


Рис. 8. Система управления одноосной вибрации RC-1120

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 других случаях устанавливаются ограничения на некоторые параметры.

Во-вторых, контроллер служит для обеспечения устойчивости 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 быть как совпадающим по фазе с вынуждением, так и противоположным. В случае совпадения через акселерометры обратной связи вводится поправка на приводящий сигнал с усилителя, и ток на актюатор уменьшается. В случае противоположных направлений 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.

В-третьих, контроллер позволяет обрабатывать полученную в ходе испытаний информацию.

В-четвертых, контроллер обеспечивает единство формата данных, обмен ими, запись данных, позволяет использовать записанные данные как справочные или применяет их в качестве входных данных, а также может их редактировать: изменяет параметры, соединяет разные «кусочки» записей и монтирует «вибrolенту».

В-пятых, контроллер обладает возможностью удаленного контроля. То есть за ходом испытаний можно следить с компьютера и по локальной сети. У мощных высокопроизводительных машин имеются функции генерации сообщений по заданным электронным адресатам о статусе проведения испытаний и создание электронных отчетов по текущим и конечным результатам испытаний.

В управляющих системах имеются режимы, обеспечивающие работу электродинамического стенда как самостоятельно, так и посредством компьютера по локальной сети. Данные контроллеры имеют собственную па-

нель 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. Система позволяет проводить испытания на фиксированных частотах, определять собственные частоты, задавать ограничения по заданию параметров. С помощью специальных программных пакетов система обрабатывает и производит запись вибрационного профиля, определяет собственные частоты и проводит испытания изделий в условиях резонанса.

Еще одной управляющей системой является 64-канальная система управления вибрационным воздействием (контроллер) K2 — мощное средство, формирующее синусоидальный, широкополосный случайный профиль вибрации и ударные воздействия. Контроллер обладает всеми аппаратными и программными возможностями для проведения всех видов испытаний вибрацией и ударными воздействиями. К примеру, задание ограничений, качание частоты, испытания в условиях резонанса, задание ограничений по спектральной плотности мощности, воздействия синусоидальной вибрации на ШСВ и ШСВ на ШСВ. Система представляет собой модульную структуру, то есть под предъявляемые требования задаются конфигурация и количество каналов (рис. 9.)

Для более простых случаев предусмотрен упрощенный 2-канальный контроллер на базе K2 — K2 Sprint.

К самой сложной управляющей системе относится многоканальная система управления пространственной вибрацией. Система предназначена для многоцелевого анализа и управления вибрацией вплоть до 6 степеней свободы. Она поддерживает множество раз-



Рис. 9. Система управления одноосной вибрацией (модель K2)



Рис. 10. Система управления пространственной вибрацией (модель F2)

личных специализированных аппаратных и программных средств для исследования и задания воздействий (рис. 10).

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

Усилитель

Это устройство обеспечивает усиление входного управляющего сигнала для вибратора. Оно имеет модульную структуру, позволяющую существенно упростить и унифицировать конструкцию. Модули устанавливаются в 19-дюймовую стойку. Каждой модуль имеет выходную мощность в 100 кВ·А. Управление модуля осуществляется широтно-импульсной модуляцией с отрицательной обратной связью по току. В одном усилителе можно устанавливать до 5 модулей с общей выходной мощностью 500 кВ·А (рис. 11).



Рис. 11. Внешний вид усилителя и силовой модуль

Таким образом, компания IMV предлагает широкий ассортимент продукции, отвечающей всем современным требованиям по функциональности, надежности, экономичности и экологичности. Все серии оборудования ориентированы на характерные особенности испытываемых групп образцов и изделий. Для наиболее полного соответствия характеристик оборудования реальным условиям эксплуатации изделий: компанией IMV проведена огромная статистическая обработка и аналитическая работа по номенклатуре изделий, исследуемых на предмет вибрации, по особенностям вибрационного воздействия при производстве, транспортировке, хранении. Модельный ряд представленного оборудования обладает гибкостью и универсальностью, простотой и функциональностью, что позволяет использовать его для любых изделий и видов испытаний.