

НОВЫЕ ДАТЧИКИ DYTRAN ДЛЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье приведена краткая информация о параметрах датчиков компании Dytran, предназначенных для проведения испытаний в авиационной, космической и автомобильной промышленности. Даны краткие рекомендации по выбору типов датчиков для различных применений.

В. Макаренко

SENSORS FOR SPACE APPLICATIONS

Abstract - The article presents brief information about the sensor parameters of the company Dytran designed for testing in aerospace and automotive industries. The short recommendations on the choice of sensor types for various applications are considered.

V. Makarenko

Компания Dytran Instruments (США), основанная в 1980 году, специализируется на разработке и производстве датчиков для виброиспытаний при высоких температурах, трехосных акселерометров общего назначения и для измерения ударных ускорений значительной величины, датчиков давления, датчиков силы, импульсных молотков и кабелей с низким выделением газа (на заказ) [1, 2].

Продукция Dytran находит свое применение при тестировании ударных ускорений, летных испытаниях, испытаниях двигателей и вибраций на стендах, испытаниях на воздействие высокой температуры и др.

Кроме того, они могут найти применение в миниатюрных автономных устройствах навигации (совмещенных с GPS-системами), модулях контроля положения антенных фазированных решеток, системах катапультирования и во многих других приложениях.

Датчики характеризуются динамическим и частотным диапазонами, основной и дополнительными погрешностями, обусловленными действием влияющих факторов, верхней и нижней границей динамического диапазона, собственными шумами.

Следует отметить, что любой датчик или унифицированный ряд датчиков, как правило, создается для решения определенной инженерной задачи и должен обладать набором технических характеристик, соответствующих контролируемому процессу или объекту. И, если хотя бы один из параметров датчика, например, предельная рабочая температура или допустимые уровни вибрации не соответствуют предъявляемым требованиям, то изделие становится непригодным для применения в заданных условиях, какими бы высокими характеристиками оно не обладало.

Пьезоэлектрические акселерометры являются

наилучшим выбором при измерении вибраций в большинстве приложений благодаря широкой частотной характеристике, высокой чувствительности, высокой разрешающей способности и простоте установки. В зависимости от типа выходного сигнала они подразделяются на устройства с зарядовым выходом и акселерометры со встроенным преобразователем сигнала (IEPE – Internal Electronic Piezoelectric) с выходом по напряжению.

В последнее время более широко используются IEPE-акселерометры, поскольку они удобны в применении. Несмотря на разнообразие торговых марок и модификаций, все производители этих устройств придерживаются единого промышленного стандарта, и потому акселерометры взаимозаменяемы. Обычно в состав IEPE-акселерометра входит усилитель заряда, благодаря чему не требуются дополнительные внешние компоненты и используется недорогой кабель. Для питания акселерометра необходим источник постоянного тока. Для измерения вибраций в пределах рабочих температур $-55...125\text{ }^{\circ}\text{C}$ (до $175\text{ }^{\circ}\text{C}$ для высокотемпературных моделей) рекомендуется использовать пьезоэлектрические акселерометры IEPE-типа.

Преимущества акселерометров с зарядовым выходом проявляются в возможности работы при высоких температурах и в чрезвычайно широком диапазоне амплитуды выходного сигнала, который по большей мере определяется настройками усилителя заряда (акселерометры IEPE-типа имеют ограниченный фиксированный диапазон выходного сигнала). Типичный рабочий диапазон температур акселерометров с зарядовым выходом составляет $-55...288\text{ }^{\circ}\text{C}$, а специализированные устройства могут работать в более широком диапазоне от -69 до $760\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В отличие от IEPE-акселерометров, датчики с за-

рядовым выходом требуют использования специальных малошумящих кабелей, цена которых значительно превышает цену стандартных коаксиальных кабелей. Для подключения датчиков требуются усилители заряда или встроенные линейные преобразователи заряда. Таким образом, емкостные акселерометры предпочтительны для высокотемпературных (выше 175 °С) измерений или в случаях, когда измеряются неизвестные заранее высокие ускорения.

В приложениях, где требуется измерять вибрации очень низкой частоты, также рекомендуется использовать емкостные акселерометры, АЧХ которых линейна в диапазоне от постоянного тока до верхней граничной частоты акселерометра. При проведении измерений НЧ-вибраций емкостные акселерометры обеспечивают чувствительность до 1 В/г. Такие датчики незаменимы в электрогидравлических шейкерах, в автотранспортных приложениях, в тестовых испытаниях машин и конструкций, в системах подвески, железнодорожном транспорте.

При выборе типа акселерометра для измерения ударных ускорений требуется определить значения ожидаемого ударного ускорения в соответствии с табл. 1 [3].

Таблица 1. Характеристики ударных ускорений

Характеристика ударного ускорения	Максимальное значение ускорения, г
Низкий уровень	<500
Столкновение	<2000
Дальняя зона	500...1000 (датчик на расстоянии 2 м от точки удара)
Ближняя зона	>5000 (датчик на расстоянии менее 1 м от точки удара)

Для измерения малых ударных ускорений можно использовать акселерометры общего применения. Акселерометр должен иметь линейный диапазон до 500 г и максимально допустимую ударопрочность 500 г. Обычно для этого используются датчики с выходным сигналом по напряжению, т.к. они менее чувствительны к вибрациям кабеля. Для ослабления резонанса рекомендуется использовать усилитель с фильтром нижних частот (это может быть механический фильтр).

Для тестовых испытаний автотранспорта на безопасность для измерения ударов в дальней зоне

применяются специализированные акселерометры со встроенным фильтром и сдвиговой модой. Как правило, к ним относятся IEPЕ-датчики малого веса с паяными соединениями. Фильтр нижних частот предотвращает перегрузку оборудования.

Рабочий диапазон акселерометров для измерения в ближней зоне может достигать или быть больше 20000 г. В этом случае, как правило, применяются IEPЕ-устройства со встроенным механическим фильтром и параметрами, схожими с параметрами акселерометров дальней зоны.

Как и при измерении вибрации, частотная характеристика является важнейшим параметром датчиков ударного ускорения, которые должны работать в широком диапазоне частот (как правило, верхняя рабочая частота лежит в диапазоне 5...20 кГц).

Емкостные акселерометры служат для измерения малых низкочастотных колебаний, формируя достаточно большой выходной сигнал. Эти устройства обеспечивают высокую стабильность в широком диапазоне рабочих температур.

При выборе акселерометра следует учесть параметры окружающей среды, в которых этот датчик будет использоваться: диапазон рабочих температур, максимальные значения ускорения и влажность. В табл. 2 приведены стандартные значения рабочей температуры разных типов акселерометров.

Таблица 2. Стандартные значения температуры акселерометров

Тип акселерометра	Диапазон рабочих температур, °С
Пьезоэлектрический общего назначения	-55...260
Пьезоэлектрический высокотемпературный специализированный	-55...650
Пьезоэлектрический низкотемпературный	-184...177
С выходом по напряжению общего назначения	-55...125
С выходом по напряжению высокотемпературный	-55...175

Диапазон измерений акселерометра указывается в спецификации дважды, что может запутать пользователя. Действительный диапазон указывается в динамических характеристиках. Например, IEPЕ-акселерометр может работать в диапазоне до 500 г, но при определенных условиях эксплуатации максимальное ускорение может составлять до 2000 г. Здесь 500 г – максимальный диапазон линейного рабочего режима датчика. Параметры в разделе "Максимальное ударное ускорение" указаны для

максимально допустимой величины удара или ускорения.

Для работы датчиков в условиях влажной среды применяются разные типы корпусов, обеспечивающих герметичность устройств. Если акселерометры используются в космических аппаратах, под водой или подвергаются длительному воздействию избыточно влажной среды, рекомендуется использовать датчики в герметичных корпусах.

Однако непрерывное изменение температурных условий может нарушить эпоксидную изоляцию корпуса датчика.

При контакте акселерометра с объектом измеряемое ускорение изменяется, что вносит дополнительные погрешности в результаты измерений. Для уменьшения погрешности, вносимой собственной массой акселерометра (в соответствии с эмпирическим правилом), следует стремиться к тому, чтобы масса акселерометра не превышала массу объекта испытаний более чем на 10% [3].

Существует ряд методов установки акселерометра на испытываемое устройство. Перечислим некоторые из наиболее распространенных.

Винтовое крепление датчика к поверхности объекта обеспечивает наилучшую возможность передачи данных на высоких частотах, т.к. акселерометр образует единое целое с испытываемым устройством. Характеристику датчика в области высоких частот можно улучшить, капнув немного масла между ним и объектом. При выборе такого метода следует приобретать датчик с возможностью крепления к поверхности.

Монтаж через отверстие обеспечивает характеристик аналогичные винтовому креплению.

Клеевой монтаж датчика часто выполняется на поверхностях с небольшой площадью и на печатных платах. В качестве клея предпочтительно использовать цианакриловый, поскольку его в случае необходимости легко удалить. Многие акселерометры специально предназначены для клеевого монтажа, что указывается в технических данных. Датчик с винтовым креплением также можно установить на поверхность контролируемого объекта с помощью клея, однако не следует допускать попадания клея в резьбовые отверстия.

Вопрос о необходимости заземления корпуса датчика приобретает большое значение в тех случаях, когда поверхность измеряемого объекта является проводящей и имеет нулевой потенциал. Разность в значениях напряжения земли между электронным оборудованием и акселерометром

может привести к образованию заземляющего контура и появлению погрешностей измерения.

Как правило, акселерометры имеют развязку по земляной цепи или заземленный корпус. У акселерометров с земляной развязкой, как правило, имеется изолированное монтажное основание (подложка) и, если это возможно, – изолированный крепежный винт. В некоторых случаях весь корпус акселерометра имеет развязку по земляной цепи, т.е. полностью изолирован.

Для приложений, где требуются акселерометры с широким динамическим диапазоном, такие параметры как разрешающая способность и чувствительность являются определяющими.

Акселерометр преобразует механическую энергию в электрический сигнал, который выражается в единицах мВ/г или в пКл/г (для датчиков с зарядовым выходом). Линейка акселерометров чаще всего представлена несколькими моделями с различной чувствительностью, оптимальное значение которой зависит от уровня измеряемого сигнала. Например, при измерении больших ударных ускорений применяются датчики с низкой чувствительностью. При измерении малых сигналов лучшим решением является использование акселерометра с высокой чувствительностью, выходной сигнал которого значительно выше уровня собственного шума усилителя.

Например, если уровень измеряемых вибраций не превышает величины 0.1 г, а чувствительность датчика составляет 10 мВ/г, то выходное напряжение равно 1 мВ. А при использовании датчика с чувствительностью 1000 мВ/г величина выходного напряжения составит 100 мВ, что более предпочтительно с точки зрения обеспечения максимального динамического диапазона.

Разрешение характеризует минимально различимый сигнал акселерометра. Этот параметр определяется уровнем собственных шумов акселерометра, а в случае IEP-акселерометра – и уровнем собственных шумов встроенного преобразователя сигнала. Измеряется в среднеквадратических значениях g_{rms} .

Рассмотрим характеристики некоторых изделий компании Dytran, которые находят применение как автомобильной, так и авиационной и космической промышленности [1, 2].

МИНИАТЮРНЫЕ АКСЕЛЕРОМЕТРЫ





Предназначены для измерения и оценки пара-

метров различных конструкций в динамике, включая вибрации, модальный анализ (под модальным анализом понимается задача определения собственных частот и мод собственных колебаний различных конструкций), ударов в больших и малых

авиационных и космических конструкциях, для применения в системах предупреждения об экстренных торможениях (ESS – Emergency Stop Signal system).

Основные параметры миниатюрных акселерометров приведены в табл. 3.

Таблица 3. Основные параметры миниатюрных акселерометров компании Dytran

Тип	3274A1	3145A	3220E	3224A1
Внешний вид				
Масса, г	2.0	2.3	2.7	0.2
Габаритные размеры, дюйм	0.35×0.31×0.24	0.24×0.49 (Д×В)	0.67×0.41×0.25	0.20×0.14×0.12
Тип соединителя	3-метровый встроенный кабель, разъем 10-32	5-44 аксиальный	5-44 радиальный	3-метровый встроенный кабель, разъем 10-32
Способ монтажа	приклеивание	на шпильку	через отверстие	приклеивание
Чувствительность, мВ/г	5	100	10	9...14
Полный диапазон измерений, г	1000	50	500	500
Частотный диапазон (±5%), Гц	1.1...10000 (±10%)	0.8...10000 (±10%)	1...5000	0.3...20000 (±10%)
Максимальное ударное ускорение, г	5000	3000	2000	3000
Диапазон рабочих температур, °С	-51...121	-51...85	-51...125	-51...149
Исполнение	герметичное	герметичное	герметичное	заливка эпоксидной смолой
Электрическая изоляция	корпус	отсутствует	подложки	отсутствует
Тип кабеля для подключения	6869A	6014A, 6029A, 6040A	6014A, 6029A, 6040A	6010A, 6011A
Основные отличия	ультра-миниатюрный, TEDS *	миниатюрная конструкция	ориентация кабеля 360°	ультра-миниатюрный дизайн, каплевидная форма
Другие датчики серии	3274A2: 10 мВ/г, диапазон 500 г; 3274A3: 25 мВ/г, диапазон 200 г	3145A1: 10 мВ/г, диапазон 500 г; 3145A2: 5 мВ/г, диапазон 1000 г	3220M27: 1 мВ/г, диапазон 5000г	3224A2: 2 мВ/г, диапазон 2500 г 3224A3: 5 мВ/г, диапазон 1000 г 3224A4: 1 мВ/г, диапазон 5000 г
Серии подобных акселерометров	–	3145AG: приклеивание, чувствительность 5...100 мВ/г	3220C: режим заряда, чувствительность 1.5 и 10 пКл/г	3224B: изолированный корпус, 10 мВ/г, диапазон 500г; 3224C: режим заряда, 0.6 пКл/г


ТРЕХОСНЫЕ АКСЕЛЕРОМЕТРЫ

В этой категории продукции следует отметить изделия серии 3133D1. Это самые маленькие в мире герметичные трехосные акселерометры

(табл. 4). Они предназначены для приложений, требующих низкого выхода газа, таких как космическое пространство или вакуумные камеры для тестирования тонких материалов.

Кроме датчиков, приведенных в табл. 4, компа-

Таблица 4. Основные параметры трехосных акселерометров Dytran

Тип	3133D1	3143D	3233A	3263A1
Внешний вид				
Масса, г	0.8	14	30	5.6
Габаритные размеры, дюйм	0.24×0.24×0.24	0.82×0.82×0.34	1.00×1.00×0.52	0.48×0.48×0.44
Тип соединителя	3-метровый встроенный кабель, разъем 1/4-28, 4 контакта	радиальный, 1/4-28, 4 вывода	радиальный, 1/4-28, 4 вывода	радиальный, 1/4-28, 4 вывода
Способ монтажа	приклеивание	через 6-32 отверстие	через 8-32 отверстие	резьбовое отверстие 4-40
Чувствительность, мВ/г	10	10	1000	10
Полный диапазон измерений, g	500	500	5	500
Частотный диапазон (±5%), Гц	Оси 1 и 2: 0.3...6000 Ось 3: 0.25...10000 (±10%)	0.5...3000	Оси 1 и 2: 0.3...3000 Ось 3: 0.3...6000 (±10%)	0.3...10000 (+15/-10%)
Максимальное ударное ускорение, g	3000	1500	5000	
Диапазон рабочих температур, °C	-55...160	-51...85	-51...+93	-51...121
Исполнение	заливка эпоксидной смолой	герметичный		
Электрическая изоляция	нет	корпуса	подложки	нет
Тип кабеля для подключения	6811A	6811A, 6824A		
Основные отличия	ультра миниатюрный	ориентация кабеля 360°	ориентация кабеля 360°, ультравысокая чувствительность	малая масса, низкий уровень шума
Другие датчики серии	3133D2/D3/D4/D5 5, 2, 0.7, 0.25 мВ/г, диапазоны 500/1000/2500/5000, 25000 g	3143D1: 100 мВ/г, диапазон 50г; 3143D2: 50 мВ/г, диапазон 100г	-	3263A2: 100 мВ/г, диапазон 50г; 3263A3: 50 мВ/г, диапазон 100г
Серии подобных акселерометров	3133B: изолированный корпус, 2...10 мВ/г	3143DT: TEDS * 3143M16: 10 мВ/г, диапазон 500 g	3233AT: TEDS *	3263AT: TEDS * 3263A7T/A8T: резьбовое отверстие M3, 10 и 100 мВ/г, TEDS

ния Dutran выпускает акселерометр 3133DXT с электронной спецификацией данных (TEDS). Информацию о других трехосных акселерометрах можно найти в [1, 2].

АКСЕЛЕРОМЕТРЫ ДЛЯ РАБОТЫ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Параметры высокотемпературных IEPЕ-акселерометров приведены в табл. 5. В [1, 2] приведены акселерометры с рабочим диапазоном температур до 482 °С.

Таблица 5. Основные параметры высокотемпературных акселерометров

Тип	3220C	3224C	3225E	3225M40
Внешний вид				
Масса, г	4	0.2	0.6	0.6
Габаритные размеры, дюйм	0.67×0.41×0.25	0.27×0.14×0.12	0.36×0.25×0.15	0.36×0.25×0.15
Тип соединителя	радиальный, 5-44	3-метровый встроенный кабель, разъем 10-32		
Метод монтажа	через отверстие	приклеивание	приклеивание	приклеивание
Чувствительность, пКл/г	1.5	0.25	1.8	1.8
Частотный диапазон (±5%), Гц	0...5000	0...10000	0...10000 (±10%)	0...1000
Максимальное ударное ускорение, g	2000	1000	5000	5000
Диапазон рабочих температур, °С	-51...260	-51...177	-51...177	-51...177
Исполнение	герметичный	приклеивание		
Электрическая изоляция	подложки	нет		
Тип кабеля для подключения	6025A, 6056A	6013A, 6019A	6013A, 6019A	6013A, 6019A
Основные отличия	ориентация кабеля 360°, низкий профиль	ультраминиатюрный	ультраминиатюрный	ультраминиатюрный, низкое газовыделение
Другие датчики серии	3220C1, 10 пКл/г	–	3225E1: отрицательная полярность; 3225E2: отрицательная полярность, электрическая изоляция подложки; 3225E3: положительная полярность	3225E
Серии подобных акселерометров	3220E/M27, 1...10 мВ/г	3234A, 1...10 мВ/г	3225F, 1...500 мВ/г, TEDS, встроенный и съемный варианты кабеля	–

* *Transducer Electronic Data Sheet* (электронная спецификация данных преобразователя). В таких устройствах в электронном виде хранится информация о характеристиках и параметрах датчика, таких как: тип устройства, производитель, номер модели, серийный номер, дата калибровки, чувствительность, опорная частота и другие данные. В TEDS также хранятся калибровочные коэффициенты и частотный диапазон преобразователя.

БОРТОВЫЕ АКСЕЛЕРОМЕТРЫ

Космические системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования Земли являются одними из самых востребованных научных разработок как для военных, так и для гражданских целей.

При растущих требованиях к спутниковым системам наблюдения становится необходимо усовершенствование космических аппаратов (КА) и различных бортовых систем. Это в первую очередь затрагивает высокоточные измерительные системы орбитального и углового движения. Для управления КА часть информации поступает из наземных комплексов управления. Но обеспечивающие системы (навигации, ориентации, стабилизации) для функционирования целевой аппаратуры проводят расчеты на борту КА. При этом повышается уровень автономности и интеллектуализации работы бортовой

системы управления КА. Одной из ключевых задач является определение параметров и характера движения центра масс на борту КА. Но для этого на борту КА необходима система для определения параметров движения, адекватных реальным возмущениям. Именно для этих целей и используются бортовые акселерометры. Такая информация доступна через системы навигации GPS и ГЛОНАСС только частично.





Параметры бортовых акселерометров Dytran приведены в табл. 6.

ИМПУЛЬСНЫЕ МОЛОТКИ

Характеристики импульсных молотков компании Dytran приведены в табл. 7, а сменных головок в табл. 8.

Основой одного особого класса эксперимен-

Таблица 6. Основные параметры бортовых акселерометров Dytran

Тип	3091A	3168F	3232A1	3236A
Внешний вид				
Масса, г	30	23	45	28.1
Габаритные размеры, дюйм	1.21×1.05×0.41	0.80×0.50 (Д×В)	1.0×1.1×0.51	0.80×0.52 (Д×В)
Тип соединителя	радиальный, 3 вывода "Mighty Mouse®"	встроенный кабель 1.2 метра	радиальный, 3 вывода "Mighty Mouse®"	радиальный, 3 вывода "Mighty Mouse®"
Метод монтажа	через отверстие	через отверстие	через отверстие	через отверстие
Чувствительность, мВ/г	10	10	10	10
Полный диапазон измерений, г	500	500	500	500
Частотный диапазон (±5%), Гц	10...1000	1...20000	3.3...2500 (±10%)	1.2...10000
Максимальное ударное ускорение, g	3000	3000	5000	10000
Диапазон рабочих температур, °С	-51...121	-51...121	-51...121	-51...149
Исполнение	герметичное	герметичное	герметичное	герметичное
Электрическая изоляция	корпуса	корпуса	корпуса	корпуса
Тип кабеля для подключения	–	–	6891A	–
Основные отличия	встроенный монтажный кронштейн	широкая полоса частот, ориентация кабеля 360°	двухосевой, встроенный монтажный кронштейн	ориентация кабеля 360°

тального модального анализа являются измерения набора частотных характеристик. Движение может быть описано в терминах перемещения, скорости и ускорения. Соответствующие частотные характеристики можно назвать характеристиками "податливости", "подвижности" и "ускоряемости". В общем случае термин "измерение подвижности" используется для обозначения механической частотной характеристики любого вида. При измерениях обычно определяются частотные характеристики ускоряемости, так как наиболее удобным датчиком для измерения движения является акселерометр.

В идеальном случае определение частотной характеристики подвижности включает в себя возбуждение конструкции с помощью измеряемой силы, измерение реакции с последующим расчетом отношения спектров действующей силы и реакции.

Возбуждающая сила может быть создана с по-

мощью устройств различного типа. Для проведения широкополосного возбуждения используется два класса устройств – прикрепляемые и не прикрепляемые вибровозбудители.

Примеры прикрепляемых вибровозбудителей:

- электромагнитные вибростенды
- электрогидравлические вибростенды
- вибраторы с эксцентрическими вращающимися массами
- специальные устройства (ракеты и др.).

Примеры не прикрепляемых вибровозбудителей:

- импульсные молотки
- большие маятниковые ударные молоты
- подвесные кабели для создания сотрясений и др.

Продолжительность удара, а, следовательно, и форма спектра при ударном возбуждении, опреде-

Таблица 7. Основные параметры импульсных молотков Dytran





Тип	5805A	5850B	5800B2	5800SL
Внешний вид				
Масса, г	454	150	100	2
Тип соединителя	BNC	BNC	BNC	10-32
Чувствительность, мВ/Н	0.22	23, 2 и 0.22 (выбирается пользователем)	23	23
Полный диапазон измерений, кН	22.24	0.22, 2 и 22.24	0.22	0.22
Максимальная сила, кН	44.48	4.45, 26.69 и 35.59	4.45	0.33
Тип кабеля для подключения	6020A	6055A, 6089A	6055A, 6089A	6011A
Основные отличия	–	3-позиционный переключатель позволяет пользователю выбрать один из 3-х вариантов чувствительности для использования с тест-объектами различной величины	стандартный размер	ультраминиатюрный

Таблица 8. Основные параметры сменных головок для импульсных молотков Dytran

Тип	Назначение	Внешний вид
6270S1	для использования с моделью 5850B, нержавеющая сталь, длина 1 дюйм	
6270S2	для использования с моделью 5850B, нержавеющая сталь, длина 2 дюйма	
6271	для использования с моделью 5850B, нержавеющая сталь, длина 1 дюйм	
6278	для использования с моделью 5800SL, латунь, длина 0.167 дюйма	

ляется массой и жесткостью как ударного (импульсного) молотка, так и конструкции. При применении относительно небольшого молотка на твердой конструкции жесткость головки молотка определяет ширину спектра генерируемого возбуждения.

Ударные молотки могут иметь массу от нескольких грамм до нескольких тонн с частотным диапазоном от 0 до 5000 Гц у самого легкого и от 0 до 10 Гц у самого тяжелого молотка.

Преимущества применения ударных молотков:

- высокая скорость измерений – необходимо проводить только несколько усреднений
- крепежные приспособления не нужны
- компактность и удобство проведения испытаний на месте эксплуатации
- относительная дешевизна аппаратуры
- отсутствие влияния на конструкцию переменной нагрузки, обусловливаемой массой.

Отсутствие влияния на конструкцию является особым преимуществом при испытаниях легких конструкций, так как изменение нагрузки от точки к точке может вызвать сдвиг модальных частот при различных измерениях.

Ударные молотки обычно имеют встроенный датчик силы и сменные головки, предусмотренные для управления жесткостью.

Кроме приведенных в статье датчиков компания Dytran выпускает еще много различных видов датчиков (МЭМС и пьезоэлектрических), кабелей, усилителей заряда, источников питания, виброметров, TEDS-адаптеров и многое другое. Подробнее с номенклатурой изделий компании можно ознакомиться в [1, 2, 4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Sensor Selection Guide / <http://pdf.dirxion.com/tmp/out1148500.pdf>.
2. Dytran Piezoelectric and DC MEMS Sensors for Measurement and Monitoring / <http://pdf.dirxion.com/tmp/out1148503.pdf>.
3. Брюс Лент. Рекомендации по выбору акселерометра / Электронные компоненты №12, 2009. – с. 48-50.
4. <http://www.dytran.com/assets/PDF/DCResponseMEMSAccelerometers.pdf>.

VD MAIS
Контрактное производство электроники
 (по стандарту IPC-A-610)



- автоматизированный монтаж SMD-компонентов (до 1.5 млн в сутки)
- автоматизированная селективная пайка компонентов, монтируемых в отверстия
- монтаж прототипов печатных плат
- 100% автоматический оптический контроль качества монтажа
- изготовление опытных образцов изделий
- мелко- и крупносерийное производство
- 10-летний опыт контрактного производства
- гарантии качества

Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO/TS 16949:2009 и ISO 13485:2003.
Цены – оптимальные.

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6
 тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202
 e-mail: info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua

VD MAIS

Оборудование и материалы для монтажа/демонтажа электронных компонентов (ЭК)



- Паяльное и ремонтное оборудование
- Системы очистки воздуха
- Устройства трафаретной печати
- Системы установки компонентов
- Паяльные печи: конвекционной и селективной пайки, пайки волной
- Испытательное оборудование
- Системы визуального контроля
- Координатно-фрезерные станки
- Технологические материалы монтажа ЭК
- Средства антистатической защиты

Дистрибуция и прямые поставки:
 AIM, Bernstein, Charleswater, Electrolube, Essentec, KIC, Kolver, LPKF, Magic Ray, Miele, Nordson, Optilia, PACE, PDT, Hanwha Techwin, Seho, TWS, Vision, Weiss

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6
 тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202
 e-mail: info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua