

УДК 629.735

ВИБРОДАТЧИКИ И МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ, КАК ИХ АНАЛОГИ, ДЛЯ ОЦЕНКИ ВИБРОСОСТОЯНИЯ РОТОРНЫХ МАШИН

Б.А. ЧИЧКОВ

В статье выполнено сравнение вибродатчиков, используемых для оценки вибрационного состояния установок с газотурбинными двигателями, с датчиками движения, используемыми в микроэлектромеханических системах современных мобильных устройств (на примере устройств на платформе "Android"). Дается заключение о возможности оценки вибросостояния с использованием датчиков мобильных устройств.

Ключевые слова: вибрация, датчик вибрации, датчик движения, мониторинг, ротор, системы микроэлектромеханические, устройства мобильные, характеристики датчиков.

Работа различных роторных машин, к которым относятся, в том числе, силовые установки воздушных судов с газотурбинными двигателями, наземные энергетические газотурбинные установки, различного рода экспериментальные стенды и т.п. сопровождаются вибрациями, порождаемыми источниками различной физической природы. При этом основным источником вибрация является, как правило, дисбаланс ротора. На практике необходимо не допускать работу установок на режимах со значительной вибрацией. Указанные режимы связаны с так называемыми критическими скоростями вращения роторов, на которых наблюдается увеличение прогибов роторов, вплоть до возможной потери устойчивости. Понятно, что такого рода явления недопустимы, и вибрационное состояние рассматриваемых установок подлежит непрерывному мониторингу.

Вибродатчики, установленные для измерения вибрации самолетных и вертолетных газотурбинных двигателей (ГТД), отличаются способом съема сигналов, пропорциональных перемещению сейсмической массы. В качестве датчиков перемещений используются индуктивные емкостные, омические, электромагнитные и другие элементы [1]. Выбор типа датчиков, их характеристики и места размещения их на двигателе определяют достоверность и точность измерения параметров вибрации в требуемом диапазоне частот [2, 3]. В целом, выбор типа датчика определяется условиями его применения. Наиболее часто в системах контроля вибрации используют датчики виброперемещения, виброскорости, виброускорения (рис. 1).



Рис. 1. Классификация и области применения датчиков вибрации

Исторически, первыми в системах контроля вибрации ГТД нашли применение электро-механические датчики, представляющие собой классические виброметры с низкой собственной частотой. К ним относятся индукционные датчики вибрации типов МВ-25 (рис. 2а), МВ-26, МВ-27, МВ-28, МВ-30, МВ-31. Недостатком этого типа датчиков вибрации является ограни-

ченный частотный диапазон преобразования. На рис. 2б приведена конструктивная схема датчика МВ-25, который представляет собой массу, выполненную в виде постоянного магнита 7 и помещенную внутри корпуса 8. В корпусе расположена катушка 3. Датчик жестко крепится на специальных фланцах двигателя (в месте замера вибрации) двумя винтами без установки каких-либо прокладок.

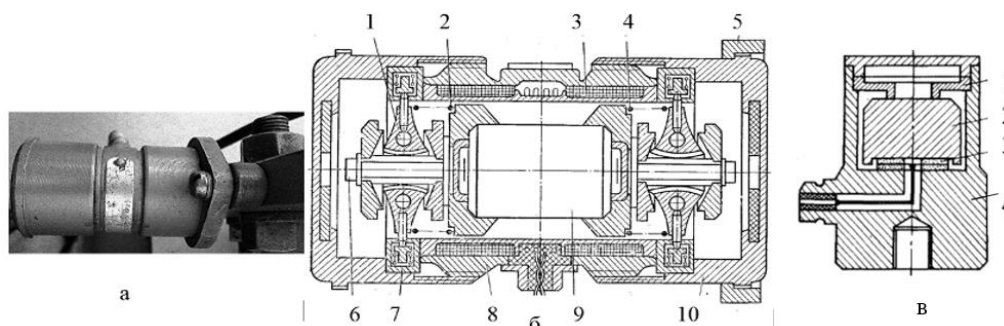


Рис. 2. Внешний вид (а) и конструктивная схема (б) датчика вибрации МВ-25 (1 – сектор; 2,4 – пружина; 3 – катушка; 5 – фланец; 6 – крышка; 7 – постоянный магнит; 8 – корпус; 9 – подшипник; 10 – винт), схема пьезоэлектрического вибропреобразователя [4] (в) (1 – пружина, 2 – инерционная масса, 3 – пьезокерамическая пластина, 4 – корпус)

Датчик вибрации МВ-25 может быть двух типов и предназначен для измерения параметров установившейся вибрации: МВ-25В (вертикальной), МВ-25Г (горизонтальной). Принцип работы датчика МВ-25 основан на законе электромагнитной индукции. При смещении корпуса датчика пересечение полем постоянного магнита витков катушки индуцирует в ней ЭДС, величина которой пропорциональна амплитуде вибросмещений и частоте смещений.

Основной величиной, характеризующей датчик и определяющей величину погрешности измерения, является его чувствительность. Проблема недостаточной надежности и ограниченного ресурса электромеханических датчиков была решена с созданием пьезоэлектрических датчиков вибрации [2] (пьезоакселерометров – рис. 2,в).

Однако перед постановкой таких датчиков требуется проведение вибрографирования мест их установки, иначе возможно возбуждение пьезоакселерометров на частоте их установочных резонансов, и необходимо учитывать, что время релаксации структуры пьезокерамики к исходному стабильному состоянию определяется уровнем и длительностью дестабилизирующего воздействия. К датчикам данного типа относятся: МВ-04, МВ-06, МВ-38, МВ-37 и др.. При вибрации двигателя, на котором жестко закреплен пьезоэлектрический датчик, сила инерции груза внутри датчика действует на блок пьезоэлементов. В результате на контактах блока пьезоэлементов генерируется электрический заряд, пропорциональный величине виброускорения. Эти заряды переменной частоты поступают во входное устройство электронного блока на преобразователь заряда в напряжение, которое интегратором преобразуется в напряжение, пропорциональное виброскорости.

Перейдем к рассмотрению датчиков движения, реализованных в качестве так называемых MEMS-сенсоров [5, 6] (MEMS – "микроэлектромеханические системы" (Microelectromechanical systems)). Они представляют собой миниатюрные устройства, содержащие микроэлектронные и микромеханические компоненты. Составные части таких устройств имеют размеры от 1 мкм до 100 мкм, а размеры готовых систем варьируются от 20 мкм до 5 мм.

В плане архитектуры MEMS-устройство состоит из нескольких взаимодействующих механических компонентов и микропроцессора, который обрабатывает данные, получаемые от этих компонентов. Какого-то стандарта для механических элементов нет: по своему типу они могут сильно различаться в зависимости от назначения конкретного устройства.

В качестве материалов для производства MEMS могут использоваться как традиционный кремний, так и другие материалы: например, полимеры, металлы и керамика. Чаще всего

MEMS изготавливаются из кремния. Его основные преимущества заключаются в том, что он может работать в течение триллионов циклов операций и при этом не разрушится.

Обычно MEMS делят на два типа: сенсоры – измерительные устройства, которые переводят те или иные физические воздействия в электрический сигнал, и актуаторы (исполнительные устройства) – системы, которые занимаются обратной задачей, то есть переводом сигналов в те или иные действия. В рамках статьи представляет интерес первая категория MEMS, реализованная в современных мобильных устройствах в качестве датчиков движения: акселерометров (датчиков ускорения) и гироскопов (датчиков поворота) – рис. 3.

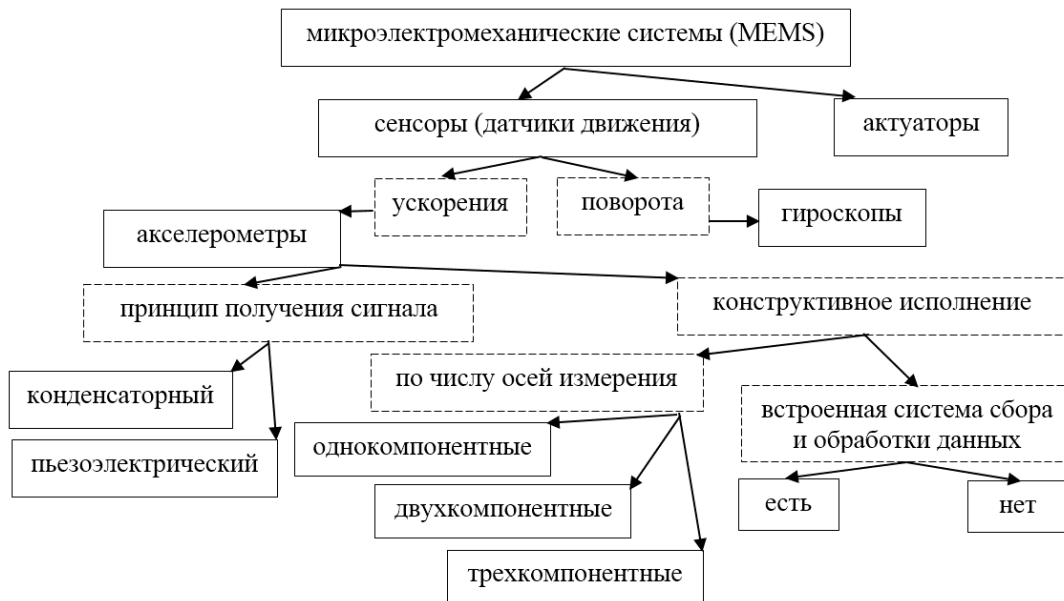


Рис. 3. К классификации микроэлектромеханических систем

На сегодняшний день наиболее популярны датчики движения, основанные на конденсаторном принципе (рис. 4). Подвижная часть системы – классический грузик на подвесах. При наличии ускорения грузик смещается относительно неподвижной части акселерометра. Обкладка конденсатора, прикрепленная к грузику, смещается относительно обкладки на неподвижной части. Емкость меняется, при неизменном заряде меняется напряжение – это изменение можно измерить и рассчитать смещением грузика. Откуда, зная его массу и параметры подвеса, легко найти и искомое ускорение. Практически, MEMS-акселерометры устроены таким образом, что составные части – грузик, подвес, корпус и обкладки конденсатора объединены в одной детали.

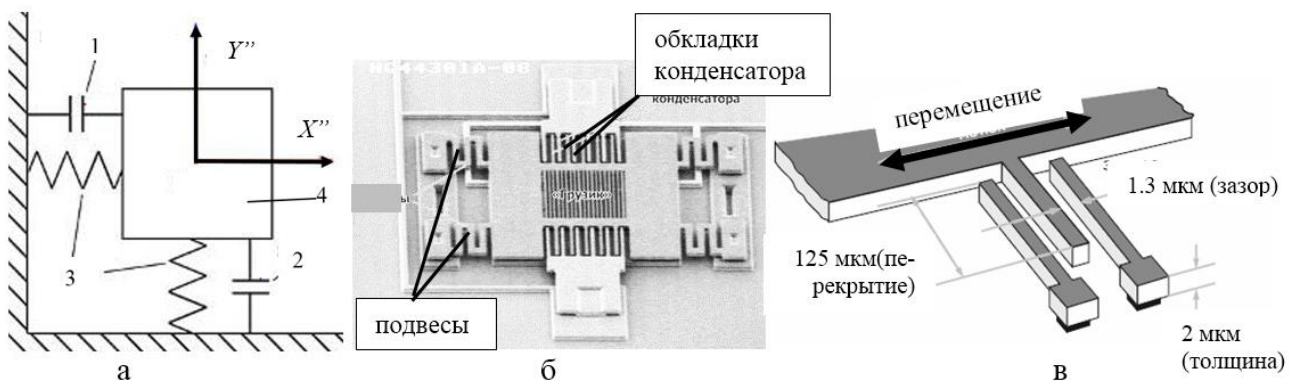


Рис. 4. Устройство конденсаторных акселерометров (а) (1 – конденсатор оси X, 2 – конденсатор оси Y, 3 – подвесы, 4 – масса), MEMS-акселерометр разработки Sandia Labs (б), дифференциальная измерительная система на основе парных емкостей с балками, закрепленными на подложке на примере акселерометров Analog Devices (в) [7, 8]

На рис. 4, в представлен пример механической части датчика. Она включает поликремниевую пластину, механически соединенную с подложкой при помощи упругих элементов подвеса, удерживаемых "якорями", способную перемещаться в направлении одной степени свободы под действием ускорения. По краям пластины вытравлены балки, закрепленные на подложке и образующие дифференциальную систему большого числа ячеек парных емкостей.

Перемещение подвижной пластинки относительно этих неподвижных балок позволяет регистрировать ускорение. В отсутствие ускорения емкости в ячейке почти одинаковы, если же ускорение отлично от нуля, пластина смещается и баланс емкостей нарушается. Кроме того, возможно наличие дополнительных балочных структур, используемых для смещения механики сенсора внешним напряжением – для проверки функциональности датчика (самотестирования).

Помимо конденсаторных датчиков, существуют MEMS-акселерометры, использующие иные принципы. Например, датчики, основанные на пьезоэффекте (рис. 5). Вместо смещения обкладок конденсатора в акселерометрах такого типа происходит давление груза на пьезокристалл – под воздействием деформации пьезоэлемент вырабатывает ток. Из значения напряжения, зная параметры системы, можно найти силу, с которой груз давит на кристалл, и, соответственно, рассчитать искомое ускорение.

В микроэлектромеханических системах с пьезоэлектрической архитектурой широко используются такие материалы, как нитриды кремния, алюминия и титана.

Основные параметры акселерометров [7, 8] оказываются схожими для датчиков вибрации (ускорения) и датчиков ускорения MEMS и представлены на рис. 6.

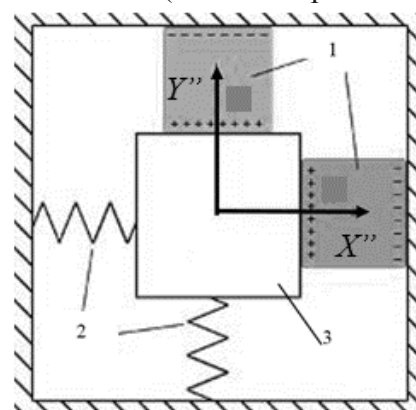


Рис. 5. Устройство акселерометров на пьезоэлементах (1 – пьезоэлементы, 2 – подвесы, 3 – масса)

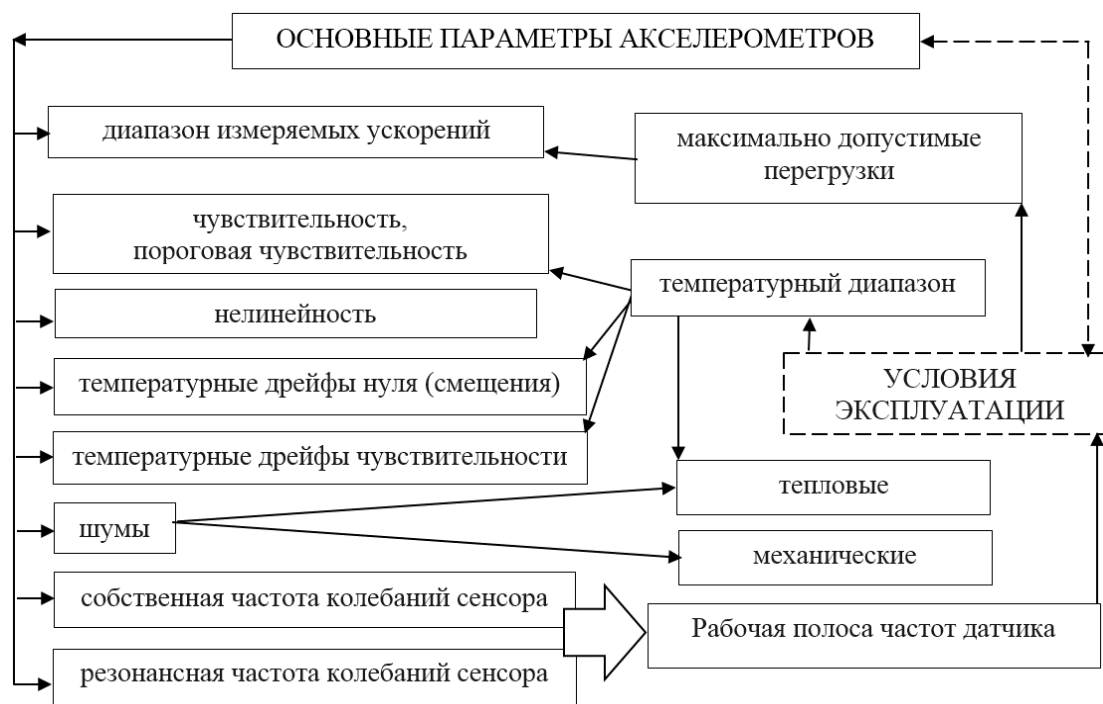
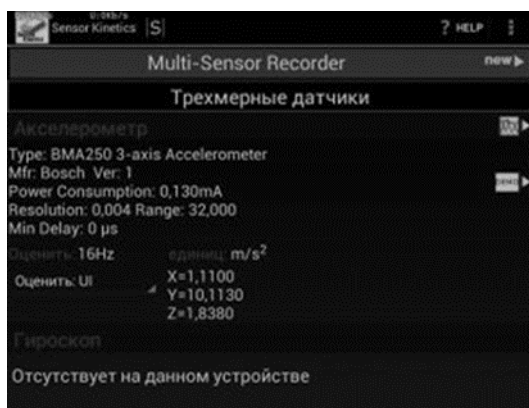


Рис. 6. Основные параметры акселерометров

Сведения об используемом в устройстве датчике и его некоторых характеристиках можно получить с использованием или штатных программ мобильного устройства, или специали-

зированных программ анализа оборудования устройств (рис. 7,а), или средствами программ анализа ускорений (рис. 7,б).



а



б

Рис. 7. Пример информации о датчиках ускорения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение вибродатчиков, используемых для оценки вибрационного состояния установок с газотурбинными двигателями, с датчиками движения, используемыми в микроэлектромеханических системах современных мобильных устройств (на примере устройств на платформе "Android"), позволяет сделать заключение о возможности оценки вибросостояния с использованием датчиков мобильных устройств с задействованием широких возможностей встроенных систем сбора и обработки данных мобильных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кеба И.В. Диагностика авиационных газотурбинных двигателей. – М.: Транспорт, 1980.
2. Столяров Ю.Г. Особенности использования датчиков вибрации для контроля авиационных ГТД. // "Двигатель", 2008. № 1 (55).
3. http://www.devicesearch.ru/article/datchiki_vibracii.
4. Лозицкий Л.П. и др. Конструкция и прочность авиационных газотурбинных двигателей. – М.: Воздушный транспорт, 1992.
5. <http://www.3dnews/600098>.
6. <http://www.ferra.ru/ru/techlife/review/mems-part=1>.
7. Казакевич А. Акселерометры Analog Devices – устройство и применение. Компоненты и технологии. – 2007. № 5. http://www.kit-e.ru/articles/sensor/2007_5_46.php.
8. <http://www.wikipedia.ru/>.

VIBRATION SENSORS AND MICROELECTROMECHANICAL SYSTEM FOR MOBILE DEVICES SUCH AS ANALOGS, FOR EVALUATION OF VIBRATION OF ROTARY MACHINES

Chichkov B.A.

The paper carried out a comparison of vibration sensors used to measure the vibration condition units with gas turbine engines, with motion sensors, microelectromechanical systems used in modern mobile devices (for example, devices on the platform "Android"). It provides opinions on the possibility of assessment of vibration, using sensors of mobile devices.

Key words: vibration, vibration sensor, motion sensor, monitoring, rotor, microelectromechanical systems, mobile devices, sensors characteristics.

REFERENCES

1. **Keba I.V.** Diagnostica aviacionnix gazoturbinnix dvigateley [Diagnostics of aviation turbine engines]. Moscow. Transport, 1980. (In Russian)
2. **Stolarov U.G.** Osobennosti ispolzovania datchikov vibracii dla kontrolya aviacionnix GTD [Features of vibration sensors use for control of aviation turbine engines]. "Dvigatel" 2008. № 1 (55). (In Russian)
3. http://www.devicesearch.ru/article/datchiki_vibracii.
4. **Lozickii L.P. i dr.** Konstrukciia i procnost aviacionnix gazoturbinnix dvigateley [Design and strength of aviation turbine engines] Moscow. Vozdushnii transport, 1992. (In Russian)
5. <http://www.3dnews/600098>.
6. <http://www.ferra.ru/ru/techlife/review/mems-part=1>.
7. **Kazakevich A.** Akselerometrye Analog Devices – ustroistvo i primenenie. Komponentye i tehnologii [The accelerometers Analog Devices – the device and application. Components and technologies]. 2007. № 5. (kite.ru/articles/sensor/2007_5_46.php.) (In Russian)
8. <http://www.wikipedia.ru/>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Чичков Борис Анатольевич, 1969 г.р., окончил МИИ ГА (1993), доктор технических наук, профессор кафедры двигателей летательных аппаратов МГТУ ГА, автор более 70 научных работ, область научных интересов – модели систем, параметрическая диагностика авиационных двигателей в эксплуатации, электронный адрес: b.chichkov@mstuca.aero.