

Т. И. Каримли, канд. техн. наук, доцент

Национальная Академия Авиации, Баку, Азербайджан,

Тел: (+99412)4972600 доб.2139, (+99450)2812715; E-mail: tkarimli@mail.ru

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ВИБРАЦИИ И ЛИНЕЙНОГО УСКОРЕНИЯ

В статье рассматривается критический обзор акселерометров, представлен двухканальный датчик вибрации и линейного ускорения с пьезоэлектрическими чувствительными элементами, позволяющий одновременное измерение вибрации и линейного ускорения (перегрузку) авиационных двигателей, а также вариант модернизации существующих пьезоэлектрических датчиков вибрации.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, воздушные суда, вибрационная скорость, вибрационное ускорение, линейное ускорение, диагностика.

T.I. Karimli

DUAL CHANNEL PIEZOELECTRIC SENSOR OF VIBRATION AND LINEAR ACCELERATION

The article deals with a critical review of the accelerometers, presented a dual channel vibration sensor and linear acceleration with piezoelectric sensing element, which allows the simultaneous measurement of vibration and linear acceleration (g-load) aircraft engines, as well as the option of upgrading the existing piezoelectric vibration sensors.

Key words: unmanned aerial vehicles, aircrafts, vibration velocity, vibration acceleration, g-load, linear acceleration, diagnostics.

1. Введение

В беспилотных летательных аппаратах (БЛА) [1] и воздушных судах (ВС) с помощью инерциальной навигационной системы осуществляется измерение и вычисление пилотажно-навигационных параметров и предоставляется информация для экипажа и различных электронных систем [2]. При этом в системах автоматического управления траекторией полета, контроля и управления двигателями летательных аппаратов (ЛА) широко используются сигналы акселерометров [3]. Так, например, для измерения линейного ускорения ЛА используются параметрические преобразователи, а для измерений вибраций авиационных двигателей применяются генераторные преобразователи. Существующие акселерометры, в зависимости от решаемой задачи, измеряют только линейное, угловое ускорение или вибрацию. Здесь, уменьшение массогабаритных показателей, увеличение эффективности и информативности измерений, а также измеряемых параметров измерительных устройств является одной из приоритетных задач приборостроения.

В статье рассматриваются акселерометры, которые используются для измерения вибрации авиационных двигателей, а также линейных ускорений ЛА (перегрузки), выявлены недостатки существующих акселерометров, обосновано применение датчика вибрации и линейного ускорения с пьезоэлектрическими чувствительными элементами, представлена возможность модернизации датчиков вибрации современных авиационных двигателей – GEux самолетов Boeing 747-8, Boeing 787.

2. Основное содержание и результаты работы

Конструкции современных авиационных двигателей характеризуются высокой динамической нагруженностью, что является причиной различных дефектов. Обработка вибрационных сигналов, поступающих с датчиков, установленных в различных

точках на корпусе двигателя можно получить информацию о динамическом состоянии различных узлов двигателя.

На основе сигналов о повышенной и опасной вибрации в случаях превышения ее значения выше установленной нормы можно принять решение о необходимых мероприятиях. Появление вибрации, внезапно возникшей и возрастающей, указывает на дефекты в двигателе. Такими дефектами могут быть разрушения приводов авиадвигателей, дисбаланс роторов компрессора, разрушения лопаток турбины или компрессора и т. д. Одной из причин повышенной вибрации является сильное обледенение лопаток. Обработывая вибрационные сигналы, поступающих с датчиков, установленных в определенных точках двигателя можно получить информацию о динамическом состоянии различных узлов двигателя и можно принять решение о необходимых мероприятиях по эксплуатации, прогнозировать появление возможных дефектов [4].

Применяемая в авиации аппаратура контроля вибрации делится на виброметры скорости и виброметры ускорения.

В турбореактивном и турбовентиляторном двигателях частота вращения ротора колеблется в определенном диапазоне, в зависимости от требуемой тяги. По этому контроль вибрации ведется в некотором частотном диапазоне. Оценка уровня вибрации осуществляется по значению виброскорости (мм/сек, дюйм/сек). В турбовинтовом двигателе скорость вращения вала винта практически не меняется, поэтому частота вибрации постоянна. Уровень вибрации оценивается по значению виброускорения (g). Принципиальные схемы датчиков в измерителях виброскорости и виброускорения одинаковы [5].

На двигателях ВС Ил-76ТД для измерения вибрации датчиком служит индукционный преобразователь (рис. 1), включающий корпус 1, инерционную массу - постоянный магнит 2, который соединен с корпусом через пружины 3 [6].

Перемещения корпуса 1 вместе с катушкой 4 индукционного преобразователя, относительно упруго подвешенного постоянного магнита 2 преобразуются в ЭДС на выходе катушки 4.

Индукционные датчики могут выпускаться как для замера вибраций в вертикальном направлении (МВ-27), так и для замера вибраций в горизонтальном (МВ-27Г). В основном индукционные датчики используются на двигателях для замера вибраций в диапазоне роторных частот.

К их недостаткам относятся ограниченный рабочий частотный диапазон (30?500 Гц), сложность конструкции, малый срок службы [4].

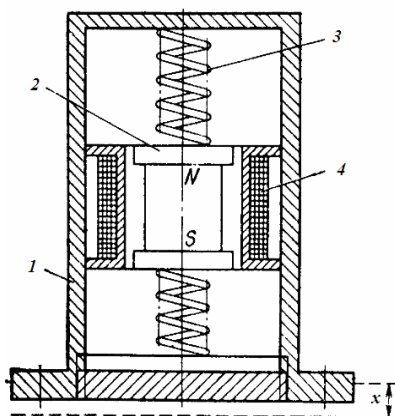


Рис. 1. Принципиальная схема датчика вибрации.

На рис. 2 представлена структурная схема системы контроля вибрации двигателя самолета Ил-114 с турбовинтовыми двигателями.



Рис. 2. Структурная схема контроля вибрации двигателя.

На схеме $V_{пнX}$, $V_{пнZ}$ — датчики вибрации переднего подшипника по осям X и Z; $V_{знX}$ - датчик вибрации заднего подшипника по оси X. Сигналы с этих датчиков поступают в электронный блок БЭ-49, где обрабатываются, а из него поступают в бортовую систему контроля двигателя (БСКД), которая формирует сообщения «Повышенная вибрация», «Опасная вибрация» и «Отказ системы контроля вибрации». БСКД устанавливается на самолетах Ил-96-300, Ту-204, Ил-114, она предназначена для контроля и диагностирования силовой установки. Это комплексная система, в которой все параметры, характеризующие работу силовой установки, обрабатываются в ЦВМ с выдачей информационных сигналов [7].

На рис.3. представлена принципиальная схема датчика вибрации (пьезоэлектрический акселерометр), применяемого на двигателях GENx BC Boeing 747-8, Boeing 787 [11, 12].

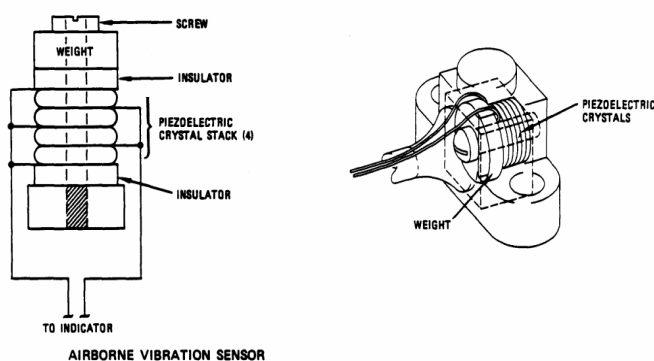
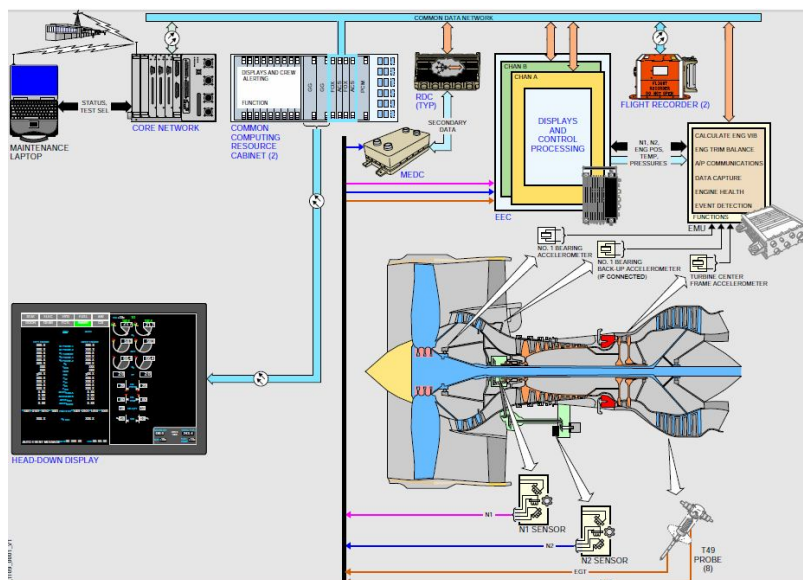
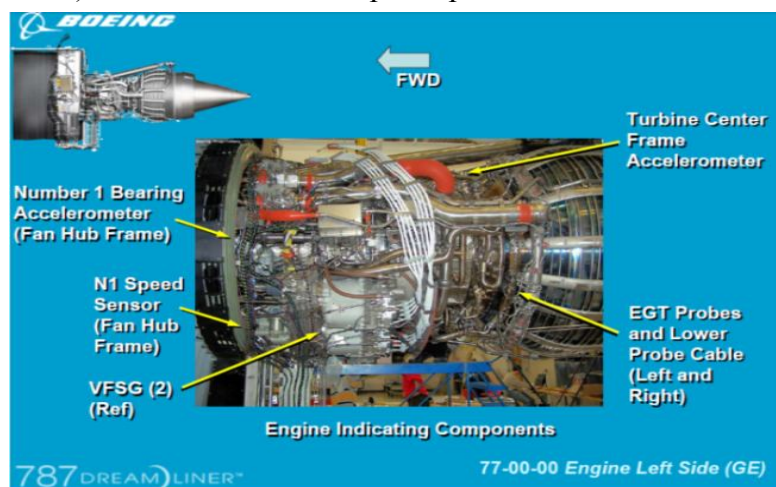


Рис.3. Принципиальная схема пьезоэлектрического датчика вибрации.

На рис. 4.а. приведена схема индикации параметров двигателя GENx (Boeing 747-8, Boeing 787), на рис. 4.б. положения датчиков вибрации (пьезоэлектрические акселерометры) и тахометров (N1 sensor, N2 sensor) установленные на этих двигателях.



а) схема индикации параметров двигателя GENx



б) положения датчиков вибрации и тахометров на двигателях GENx

Рис.4. Схемы индикации параметров двигателя и положения датчиков вибрации (пьезоэлектрические акселерометры) и тахометров на двигателях GENx (Boeing 747-8, Boeing 787).

Как известно, на ВС Boeing, Embraer, Airbus, которые снабжены EICAS (Engine Indicating and Crew Alerting System) и ECAM (Electronic Centralized Aircraft Monitoring) [8,9,10] обороты компрессоров низкого (N1) и высокого давлений (N2), измеряемые тахометрами, регулируются по уровням вибрации, которые измеряются пьезоэлектрическими акселерометрами.

Датчик состоит из пьезоэлектрических дисков в виде пакета из инерционной массы, регулировочного и крепежного винта, изолятора и корпуса. Инерционная масса и пьезоэлектрические диски с помощью винта закрепляются к корпусу датчика. Инерционная масса изолирована прокладками. Под воздействием вибрации деформация дисков инерционной массой способствует образованию разности потенциалов на

электродах. Измерение вибрации, сопровождаемое с измерением перегрузки на валах авиационных двигателях, считается целесообразным, так как максимальная вибрация происходит при повышенной перегрузке (при взлете ВС и на вираже). В этом случае, возможно одновременно решить вопрос вертикальной навигации, т.е. измерить вертикальную скорость (интеграл вертикальной перегрузки) и высоту полета (двойной интеграл вертикальной перегрузки).

Перемещение инерционной массы акселерометра пропорциональной ускорению преобразовывается в электрический сигнал. Интегрируя этот сигнал, можно получить скорость перемещения (вертикальная или боковая скорость), а дважды интегрируя перемещение (высота, боковое перемещение ВС).

3. Общий алгоритм и рекомендации

Как видно, используя вибрационную энергию авиационного двигателя можно построить двухканальный акселерометр с пьезоэлектрическими чувствительными элементами для одновременного измерения вибрации, перегрузки или линейного ускорения, вертикальной скорости и высоты полета. Принципиальная схема данного акселерометра представлена на рис.5. Датчик состоит из корпуса 1, внутри которого находятся пьезоэлектрические пластины 2, изолированные прокладкой 3 с инерционной массой 4 [13].

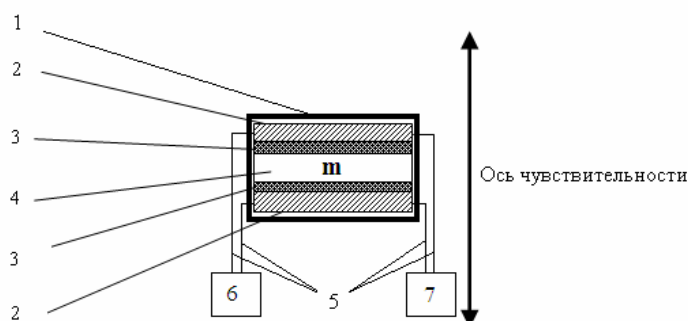


Рис.5. Принципиальная схема двухканального пьезоэлектрического датчика вибрации и линейного ускорения (ДПДВЛУ).

Вычислительная схема позволяет одновременно измерять вибрацию и ускорение по двум каналам. Для измерения вибраций на нестационарных объектах измерительное устройство устанавливается на передних и задних опорах валов двигателя. При изменении вибрации изменяется частота на выходе сумматора 6. При отсутствии ускорения или перегрузки частота f_1 и f_2 равны, а их разность равна нулю ($f_1 - f_2 = 0$). Для измерения вибрации используется левая часть электродов, подключенных к сумматору 6. Например, при возникновении ускоренного перемещения, инерционная масса 4 перемещается вниз (при наборе высоты), воздействуя на прокладку 3 и на пьезоэлектрическую пластину 2 с силой ma в нижнюю часть. При этом в нижней части пьезопластины 2 увеличивается частота колебаний, так как растет вес инерционной массы $m(g+a)$, а в верхней части пьезопластины 2 уменьшается частота колебаний, так как уменьшается вес инерционной массы $m(g-a)$. Таким образом, для измерения перегрузки (линейного ускорения) в правой части электродов 5, подключенных к дифференциатору 7 возникнет разность частот

($a \sim f_1 - f_2 \neq 0$). Увеличение чувствительности, без увеличения геометрического размера измерителя, достигается увеличением деформаций пьезоэлементов за счёт применения инерционной массы с большей плотностью, например из тантала, плотность которого вдвое больше плотности стали.

4. Заключение

Для улучшения состояния авиационных двигателей, а также функциональных возможностей современных акселерометров предлагается: использование Двухканального пьезоэлектрического датчика вибрации и линейного ускорения, который позволяет одновременное измерение вибрации и перегрузки; модернизация успешно применяемых акселерометров на ВС Boeing, Embraer, Airbus. Для модернизации пьезоэлектрического датчика вибрации (на двигателях GEnx BC Boeing 747-8, Boeing 787), следует инерционную массу выполнить из тантала или из материала, плотность которого превышает плотность стали в разы и расположить его между пьезоэлектрическими дисками, одну пару электродов пьезоэлементов необходимо подключить в сумматор (для измерения вибрации), а другую пару электродов пьезоэлементов подключить в дифференциальную схему измерения (для измерения линейного ускорения или перегрузки),

Данное устройство может применяться в различных системах измерения, управления и предупреждения нестационарных объектов и элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Unmanned aircraft systems. UAVS design, development and deployment. Reg Austin. 2010 John Wiley & Sons Ltd, United Kingdom. – 365p.
2. Воробьев В. Г., Глухов В. В., Кадышев И. К.. Авиационные приборы информационно-измерительные системы и комплексы. Под. ред. В. Г. Воробьева. – М.: Транспорт, 1992. – 399с.
3. Каргу Л. И.. Измерительные устройства летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1988. – 256с.
4. Леонтьев М. К. Виброметрирование авиационных ГТД. Учебное пособие. – М.: МАИ, 1998. – 19с.
5. JAA ATPL. Instrumentation. Oxford Aviation, 2001. – 662p.
6. Шарыгин В. Д.. Приборное оборудование самолета Ил-76ТД и его летная эксплуатация. Учебное пособие. – М.: Транспорт, 1988. – 198с.
7. Федоров С. М., Михайлов О. И., Сухих Н. Н. Бортовые информационно-управляющие системы. – М., Транспорт, 1994. – 262с.
8. Boeing 767. Maintenance Training Manual. Engine indication. 2012. – 245p.
9. Embraer E-Jet 170/190. Maintenance Training Manual. Engine indicating. 2011. – 372p.
10. Airbus 340. Technical Training Manual. Power plant. 2003. – 346p.
11. Boeing 747-8. Aircraft Maintenance Manual. Power plant. 2015. – 1030p.
12. Boeing 787. Training Lab Notebook. Power plant. 2010. – 413p.
13. Пашаев, Гурбанов Т. Б., Каримли Т. И.. Двухканальный пьезоэлектрический акселерометр. Вестник Азербайджанской Инженерной Академии. Том 7, – №1, Баку, Апострофф, 2015. С.29–35.

Поступила в редколлегию 10.12.2015 г.