

УДК 681.586.773

Е.Ф. ФУРМАКОВ¹, Ю.Г. СТОЛЯРОВ¹, А.Г. СЕГАЛЛА², В.Н. ХАРИТОНОВ³¹ОАО "Техприбор", Санкт-Петербург, Россия,²ОАО "ЭЛПА", Зеленоград, Россия,³ГП ЗМКБ "Прогресс" им. А.Г. Ивченко, Запорожье, Украина

РЕЛАКСАЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКАХ ВИБРАЦИИ

пьезоэлектрические датчики вибрации, пьезоэлектрические элементы, пьезомодуль

Пьезоэлектрические датчики вибрации (пьезоакселерометры) компрессионного типа с предварительно сжатым чувствительным элементом, выполненным на основе сегнетомягких материалов системы ЦТС (PZT), в настоящее время наиболее широко используются в составе стандовой и штатной бортовой аппаратурах контроля вибрационного состояния авиационных газотурбинных двигателей (ГТД).

Пьезоэлектрические элементы из сегнетомягкой керамики, используемые в большинстве конструкций датчиков вибрации, представляют собой поляризованные по толщине шайбы, характеризуются большой величиной пьезомодуля d_{33} (порядка 350 пКл/Н), приемлемой величиной изменения пьезомодуля d_{33} в рабочем диапазоне температур от -60 до 260 °С (порядка 15%) и позволяют создать широкий ряд конструктивных вариантов датчиков для решения задач виброконтроля различных типов ГТД.

При эксплуатации авиационных ГТД неоднократно отмечаются случаи ложного срабатывания предупредительной и аварийной сигнализаций аппаратуры контроля вибрации, причем, ее работоспособность, как правило, восстанавливается заменой соответствующего датчика вибрации. Проводимое в дальнейшем на предприятии-изготовителе исследование демонтированных с двигателей датчиков вибрации в подавляющем большинстве случаев показывает полное соответствие их характеристик требованиям технической документации и определенным при выпуске параметрам каждого конкретного датчика. При этом от момента демонтажа датчика с двигателя до его исследования проходит большой период времени.

Однако, если исследование снятых по вышеуказанным причинам датчиков проводится в течение относительно короткого времени от момента их демонтажа до исследования (например, при стендовых испытаниях двигателя), то в результате обнаруживается существенное изменение параметров датчиков: частоты установочного резонанса, добротности, чувствительности и др.

По нашему мнению, одной из причин обнаруженного эффекта может являться "омоложение" [1] пьезоэлементов, вызванное некоторой перестройкой доменной структуры поляризованной керамики под воздействием длительных больших знакопеременных механических нагрузок, вызванных, например, работой датчика в резонансной области. Полученная в результате подобной перестройки доменная структура керамики характеризуется меньшей закрепленностью доменных границ свободными зарядами и дефектами кристаллической решетки (вакансии атомов, дислокации и др.) [2], что вызывает существенное уменьшение механической жесткости керамики, рост диэлектрической проницаемости (ϵ) и тангенса угла диэлектрических потерь ($\operatorname{tg} \delta$), а также относительно небольшие изменения пьезомодуля d_{33} . Эти изменения доменной структуры являются временными, и по окончании действия больших механических нагрузок доменная структура керамики со временем возвращается практически к исходному стабильному состоянию.

При этом параметры керамики релаксируют к исходным значениям, что сопровождается восстановлением работоспособности датчиков вибрации.

Время релаксации зависит от уровня и длительности дестабилизирующего воздействия и сегнетожесткости пьезокерамического материала. У материалов с большей сегнетожесткостью эффект перестройки доменной структуры проявляется значительно слабее.

Однако, по сравнению с широко используемой сегнетомягкой пьезокерамикой ЦТС-26 с точкой Кюри 350...360 °С и величиной пьезомодуля d_{33} около 400 пКл/Н, более сегнетожесткий материал, например, типа ТНаВ-1 с температурой Кюри 670 °С, имеет существенно меньшую величину пьезомодуля d_{33} – около 17 пКл/Н. Это ограничивает возможность реализации широкого ряда датчиков, но позволяет, в зависимости от задачи, изменять параметры датчиков вибрации в достаточной степени.

Независимо от этого, представляется целесообразным более широкое использование в датчиках вибрации, предназначенных для работы даже при относительно низких (до 260 °С) температурах, пьезоэлектрических элементов из материалов с более высокой сегнетожесткостью.

Таким образом, для успешного решения задач виброконтроля различных типов ГТД необходим тщательный подход к выбору из ряда разработанных пьезоэлектрических датчиков вибрации конкретного типа датчика с необходимыми параметрами, в первую очередь, амплитудным диапазоном преобразования и частотой установочного резонанса.

Так как пьезоэлектрический датчик вибрации представляет собой колебательную систему с относительно высокими собственной частотой (16 ... 35 КГц) и добротностью (порядка 80), частота его установочного резонанса должна лежать вне области кратных гармоник частот вращения роторов при всех режимах работы ГТД, что определяется предварительным расчетом для каждого типа двигателя и результатами вибрографирования мест установки датчиков вибрации с учетом всех элементов их крепления.

При выборе конкретного типа датчика вибрации при равных условиях желательно отдавать предпочтение датчикам с пьезоэлементами из более сегнетожесткой керамики, например, датчикам типа МВ-38.

При отсутствии датчика вибрации, адаптируемого к каждому типу ГТД по каждому из параметров, необходима разработка нового варианта датчика с требуемыми характеристиками, что, при наличии базовых типов, может быть выполнено в кратчайшие сроки.

Кроме того, проблемы адаптации датчиков вибрации могут возникнуть не только при отработке новых типов ГТД, но и после длительной эксплуатации двигателей.

Так, например, многолетняя эксплуатация авиационных двигателей Д-30 II и III серий на самолетах Ту-134 А,Б и Д-30КУ-154 на самолетах Ту-154М показала резкое увеличение случаев ложных срабатываний виброаппаратуры, оснащенной датчиками МВ-04-1, на исправных двигателях, но прошедших два и более капитальных ремонтов. В результате проведенных исследовательских и экспериментальных работ совместно с разработчиками двигателей и самолетов были уточнены требуемые параметры датчика вибрации и разработан полностью взаимозаменяемый с датчиком МВ-04-1 вариант датчика МВ-04-1 сер. 2 с нормализованным коэффициентом преобразования и частотой установочного резонанса не менее 30 КГц. После проведения подконтрольной эксплуатации были выпущены бюллетени о замене в составе соответствующих виброаппаратур датчиков МВ-04-1 на МВ-04-1 сер.2 на всем парке самолетов Ту-134 и Ту-154М; на сегодняшний день более половины парка самолетов переоборудованы, и текущая эксплуатация машин подтверждает эффективность проведенных работ.

Литература

1. Сегалла А.Г. Термическая и электромеханическая активация процесса поляризации сегнетоэлектрической керамики. – Воронеж, 1972.
2. Поляризация пьезокерамики: Сборник. Ростов-на-Дону. – Ростов: РГУ, 1968.

Поступила в редакцию 12.05.2004

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н.В. Кошевой, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Харьков.