



ММЮ®

Измерений

www.stq.ru

12
2007



Доверяя надежному оборудованию...

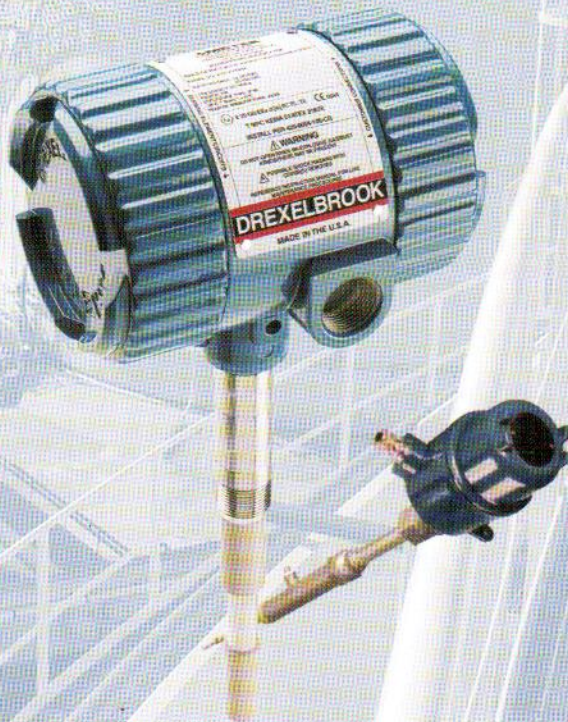
www.kombit.ru

Высокочастотные емкостные уровнемеры
Датчики содержания воды в нефти
Сигнализаторы уровня и потока

DREXELBROOK

Полный спектр применений на предприятиях
различных отраслей промышленности:

- нефтедобывающей
- нефтеперерабатывающей
- нефтехимической
- химической
- целлюлозно-бумажной
- пищевой
- фармацевтической и т. д.



КОМБИТ ISO 9001
www.kombit.ru

AMETEK®
DREXELBROOK

Внимание! Новый подход к публикации приборов
из Госреестра (см. с. 57)

ISSN 1813-8667



771813 866008 >



Ежемесячный
информационный
и производственно-
практический
журнал

Основан в марте 2001 г.

Учредители

Госстандарт России
(преобразован
в Ростехрегулирование)

Всероссийская
организация качества

РИА "Стандарты
и качество"

Главный редактор

Л.К. Исаев

Заместитель
главного редактора
А.И. Кириллов

Члены редколлегии

М.В. Балаханов

В.П. Иванов

Н.П. Муравская

Н.Н. Новиков

О.А. Сперанский

Н.Г. Томсон

А.С. Черкасов

Ответственный секретарь

Е.Д. Куничева

Редактор

Г.В. Миронова

Дизайн-макет

А.Б. Костриков

Тел.: (495) 771 6652,
988 8434

Факс: (495) 771 6653

E-mail: mi@mirq.ru

Свидетельство о регистрации
ПИ № 77-11303 от 22.11.2001

При перепечатке материалов
ссылка на журнал и его электронную
версию обязательна

Присланные материалы
не рецензируются
и не возвращаются

Мнение авторов может
не совпадать с мнением
редакции

Редакция не несет ответственность
за содержание рекламы

Подписные индексы:

каталог агентства

"Роспечать" – 80407,

объединенный каталог – 39445

Подписано в печать 28.11.2007

Бумага мелованная матовая 60×90/8.

Печать офсетная. Усл. п. л. 8.

Тираж 1000. Свободная цена.

Заказ 2666.

Отпечатано в ОАО "Калужская

типография стандартов".

248006, Калуга,

ул. Московская, 256.

Contents in English – see next page

Тема номера: Измерения в радиоэлектронике 4

С.Р. Тумковский, С.У. Увайсов, И.А. Иванов, Р.И. Увайсов
Виброакустический контроль бортовой космической аппаратуры 4

Ю.Д. Болмусов, В.А. Мартынов, Е.Л. Скворцов
Эталоны коэффициента амплитудной модуляции и девиации частоты
высокочастотных колебаний 8

А.А. Морозов
Элементы коаксиального тракта в измерительной технике 14

Наши лидеры 18

Об утверждении типов средств измерений 19

Новые измерительные приборы и оборудование 40

Новые приборы модельного ряда АКИП™ 40

Теория. Исследования. Практика 41

М.А. Калинин
Дрейф метрологических характеристик акселерометров 41

А.В. Епремяя
Контроль витковых замыканий 46

Проблемы и поиски в мире измерений 48

А.П. Чирков
Метрология и развитие экономики 48

Измерения в социологии 52

Н.П. Попов
Рейтинги как мера достоинств политика 52

Конференции. Выставки 56

В.И. Матвеев
Российская неделя контрольно-измерительного оборудования – 2007 56

В.И. Матвеев
Международная выставка ЭТАЛОН – 2007 58

Перечень статей, опубликованных в журнале в 2007 г. 61

В следующем номере Измерения в нанотехнологиях

РЕКЛАМА В НОМЕРЕ:

"КАСцентр" – 20 • "КОМБИТ Инструмент" – 1-я с. обложки • "Монолит" ("МЕТЕР") – 20 •
"НПО СЕРНИЯ" – 39 • НПФ "Диполь" – 3-я с. обложки • НПФ "Микран" – 16 • "НПФ Теплоком" – 2-я с. обложки •
"ПриСТ" – 40, 4-я с. обложки • "Текноу" – 22 • "Теплоприбор-Юнит" – 32, 33 •
Уральский научно-исследовательский институт метрологии – 45 •
"Шатковский приборостроительный завод" – 23 • Fluke Europe B.V. – 26
РИА "Стандарты и качество" – 2, 17, 63, 64

Виброакустический контроль бортовой космической аппаратуры

С.Р. Тумковский, доктор технических наук

С.У. Увайсов, доктор технических наук

И.А. Иванов

Р.И. Увайсов

Московский государственный институт электроники и математики, Москва

В настоящее время космические аппараты (КА) нашли широкое применение не только при решении военных, но и гражданских технических задач, что привело к возрастанию общего количества ежегодных космических запусков. Для достижения заданных показателей надежности конструкции бортовых радиотехнических устройств (БРТУ) изготавливают с большим запасом прочности. Такие высокие требования обусловлены повышенным влиянием внешних факторов как при доставке радиотехнических устройств (РТУ) на орбиту, так и в условиях их последующей эксплуатации.

Среди прочих внешних факторов следует выделить механические воздействия как основную причину, требующую большого запаса прочности конструкции. Прочность достигается, как правило, за счет ребер жесткости, увеличенной толщины элементов, более прочных материалов и использования других конструктивных решений, которые в конце концов утяжеляют аппаратуру в целом.

На рис. 1 приведено распределение отказов электро- и радиоизделий (ЭРИ) по видам дефектов.

Как видно из диаграммы, механические повреждения носят доминирующий характер.

В результате несоблюдения технологии изготовления или превышения предельных значений механических воздействий возможно появление конструктивных дефектов: неисправностей, имеющих механический характер и определенным образом влияющих на тепловые и электрические характеристики аппаратуры. Конструктивные

дефекты при эксплуатации могут создавать повышенный уровень акустических колебаний и изменять амплитудно-частотные характеристики блока, что приводит к возможному увеличению амплитуд ускорений и сдвигу резонансных частот. Для БРТУ этажерочного типа (рис. 2) к конструктивным дефектам относятся: дефекты

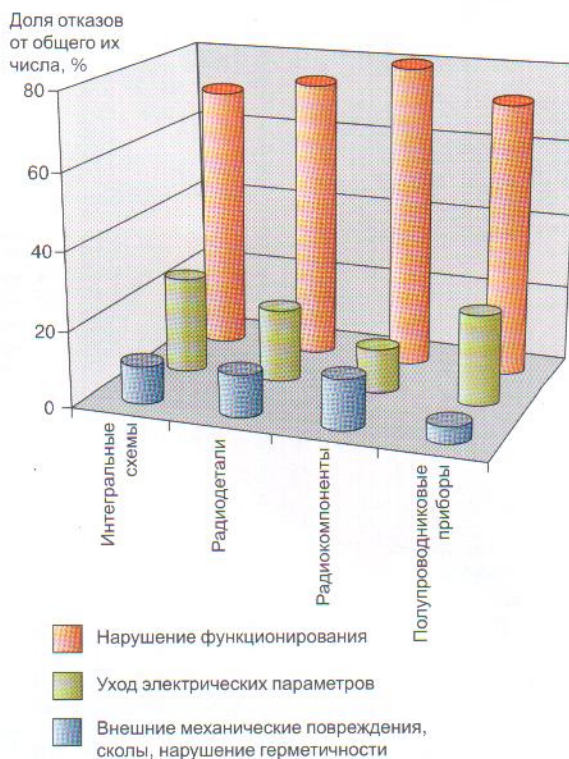


Рис. 1
Распределение отказов по их видам

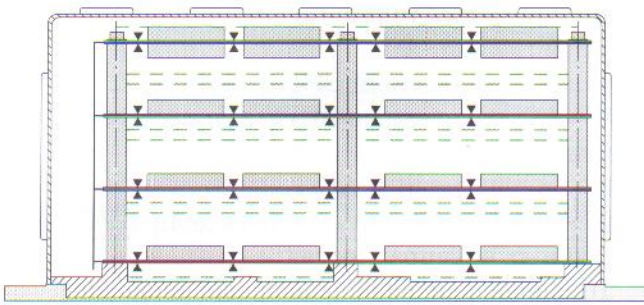


Рис. 2
Блок БРТУ этажерочной конструкции в разрезе (эскиз)

изготовления несущего корпуса и плат; их эксплуатационные дефекты (деформация, трещины, износ); присутствие в корпусе посторонних предметов (элементов конструкции, проводов, крепежа и т.п.); люфты в местах различных креплений; механические повреждения ЭРИ (трещины, отслоения металлизации, сколы и др.).

В настоящее время в различных областях науки и техники используются различные методы неразрушающего контроля. Но для космической аппаратуры пока основным способом выявления дефектов является разрушающий физический анализ, предполагающий вскрытие конструкции и визуальный осмотр. Стоит отметить, что космическая бортовая аппаратура изготавливается в герметичных корпусах, вскрытие которых крайне нежелательно. Именно поэтому разработка методики неразрушающего контроля БРТУ КА на сегодня очень актуальна.

Повышение надежности конструкции бортовых радиотехнических устройств КА может быть достигнуто за счет обнаружения предвестников и своевременного устранения причин отказов на основе анализа амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) и акустических сигналов (АС).

Конструкции большинства БРТУ КА предусматривают жесткое фрезерованное основание и кожух. Для проведения исследований был разработан и изготовлен макет БРТУ (рис. 3), состоящего из жесткого основания толщиной 3 мм, кожуха и печатного узла. Габариты макета 260×140×180 мм. Кожух крепится к основанию восемью винтами М5. Печатная плата крепится гайками к шпилькам, приваренным к основанию.

Чтобы снять АЧХ и данные АС, необходимо подать гармонические колебания на основание макета.

В ходе исследований рассматривались следующие типовые дефекты:

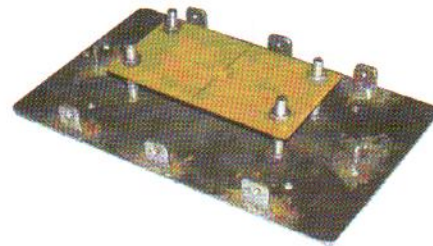


Рис. 3
Общий вид макета

А) ослабление на пол-оборота верхней гайки крепления печатной платы к шпильке;

Б) отсутствие верхней гайки крепления печатной платы к шпильке;

В) отсутствие верхней и нижней гаек крепления печатной платы к шпильке;

Г) нахождение внутри устройства шайбы.

Вибродатчики крепились на корпусе и на печатной плате макета. Результаты исследований показали изменение АЧХ при наличии неисправностей А, Б, В. Неисправность Г на АЧХ не влияет. Способ крепления при сравнении перечисленных выше неисправностей по принципу подобия оказывает незначительные изменения (рис. 4, 5). Для выявления неисправности типа Г анализировался акустический сигнал, возникающий

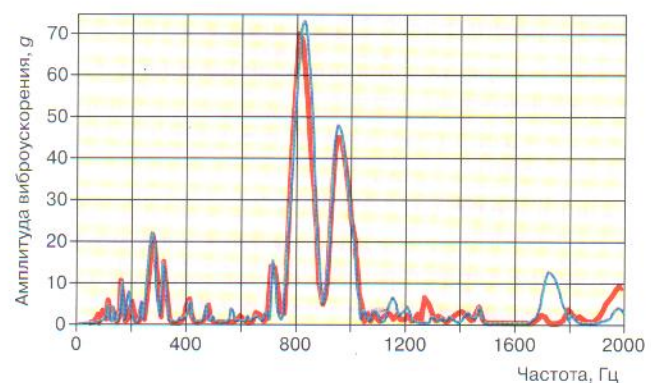


Рис. 4
АЧХ при креплении датчика на корпусе:
синяя линия – АЧХ с неисправностью А; красная линия – АЧХ исправного макета

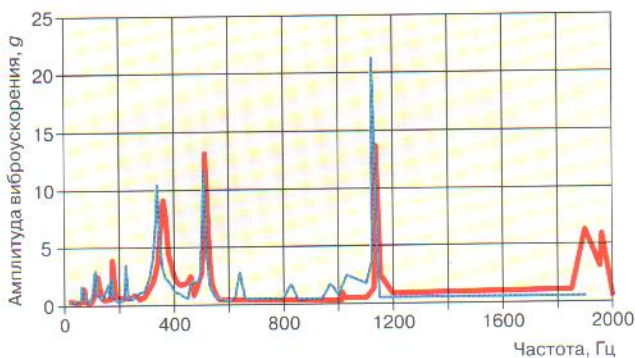


Рис. 5
АЧХ при креплении датчика на печатной плате:
синяя линия – АЧХ с неисправностью А; красная линия – АЧХ исправного макета

вследствие взаимодействия конструкции блока с находящимися в нем посторонними элементами.

Если АЧХ изменяется при наличии дефектов конструкции, то неисправность типа Г определяется только по акустическому сигналу. Критерием контроля по акустическим сигналам выбрано пороговое значение амплитуды звука. Чем больше масса и жесткость постороннего предмета, тем выше амплитуда гармонических колебаний.

Для анализа АЧХ рассматриваются различные методы сравнения дискретных функций: метод наименьших квадратов, χ -квадрат, метод максимального правдоподобия и др. Был разработан критерий, по которому сходство АЧХ определяется по коэффициенту подобия:

$$K_{\rho, f} = \frac{C(\rho, f)}{\sigma_{\rho} \sigma_f}, \quad (1)$$

$$C(\rho, f) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\rho_i - \mu_{\rho})(f_i - \mu_f), \quad (2)$$

где $K_{\rho, f}$ – коэффициент подобия для величин ρ и f ;

σ_{ρ}, σ_f – среднее квадратичное отклонение величин ρ, f ;

μ_{ρ}, μ_f – среднее значение величин ρ и f .

Схема предложенного метода выявления неисправностей по АЧХ и АС в конструкции БРТУ представлена на рис. 6.

На рис. 6 стрелками обозначены:

1 – математический оператор, связывающий выходные характеристики с внешними воздействиями и внутренними параметрами;

2 и 3 – гармонические колебания, подаваемые с вибростенда на макет БРТУ и на БРТУ;

4 – АЧХ БРТУ при различных неисправностях;

5 – колебания точки крепления вибродатчика на БРТУ;

6 – АС, издаваемый БРТУ;

7 – АС, издаваемые БРТУ при различных неисправностях;

8 – оцифрованный АС;

9 – АЧХ математической модели БРТУ при различных неисправностях;

10 – АЧХ с БРТУ;

11 – оцифрованный АС с БРТУ;

12 – оцифрованные АС с макета БРТУ.

Математическая модель позволила определить необходимую чувствительность метода при



Рис. 6
Структурная схема метода

изменении расстояния от электрорадиоэлемента (ЭРЭ) VD 12 до вибродатчика (рис. 7) и изменении массы ЭРЭ на печатном узле (рис. 8).

В ходе эксперимента также регистрировались акустические сигналы. Для их анализа в качестве критерия использовалось изменение амплитуды при изменении массы постороннего элемента (рис. 9). На рис. 10 представлены спектральные составляющие акустического сигнала и Вейвлет-анализ при воздействии на блок механи-

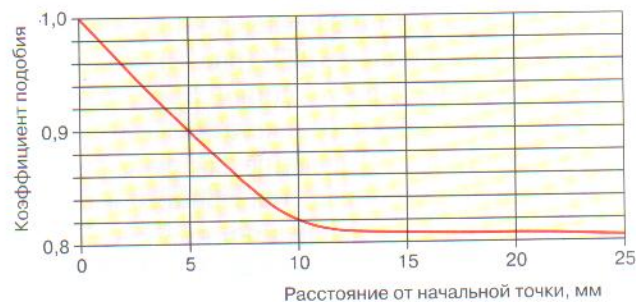


Рис. 7
Зависимость коэффициента подобия от расстояния ЭРЭ до вибродатчика

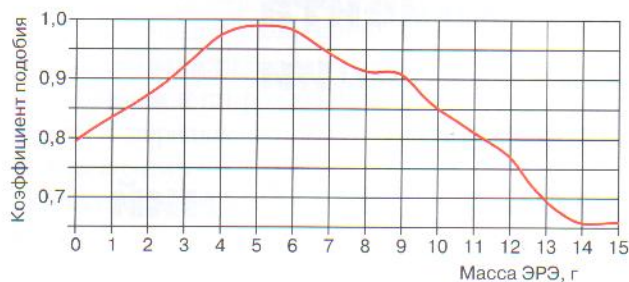


Рис. 8
Зависимость коэффициента подобия от массы ЭРЭ

ческих колебаний с фиксированной частотой. Такой подход позволяет лишь проводить контроль БРТУ на присутствие (или отсутствие) посторонних элементов. Рекомендуется проводить Вейвлет-анализ для идентификации неисправностей такого типа. Проблема при использовании Вейвлет-анализа заключается в выборе критерия сходства акустических сигналов с базой данных акустических сигналов для различных неисправностей. Использование преобразования Фурье вместо Вейвлет-анализа упрощает задачу с точки зрения уменьшения объема данных с трехмерных до двумерных. Диапазон рассматриваемых частот 20...30000 Гц.

При математическом моделировании необходимо учитывать фактор усталости и износа материалов на момент проведения исследования. Это обусловлено изменением АЧХ за счет усталости и износа конструкции в процессе полета космического аппарата.

Результаты экспериментов и их анализ показали изменение АЧХ и акустических сигналов, по которым можно определить наличие и вид различных неисправностей. При математиче-

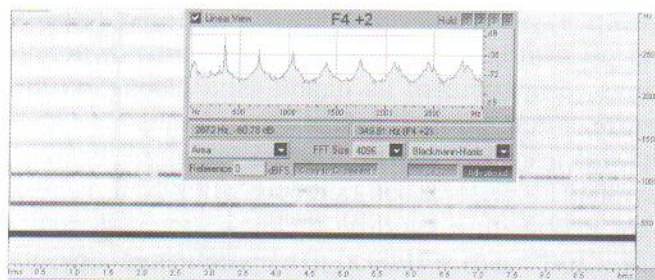
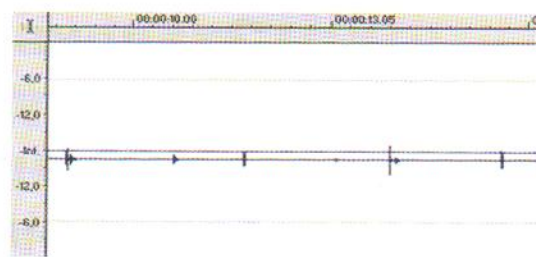
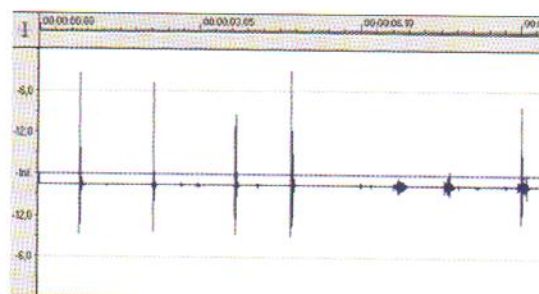


Рис. 9
Вейвлет-анализ и преобразование Фурье при наличии в конструкции постороннего предмета (шайбы)



а



б

Рис. 10
Временные диаграммы акустического сигнала:
а — в отсутствие неисправностей; б — при внесении в конструкцию шайбы

ском моделировании различных критериев сходства АЧХ наилучшим оказался коэффициент подобия. Для сравнения акустических сигналов необходимо решать многомерную задачу сравнения случайных процессов с помощью Вейвлет-анализа и преобразования Фурье.

Литература

1. Малинский В.Д., Бегларян В.Х., Дубицкий Л.Г. Испытания аппаратуры и средств измерения на воздействие внешних факторов: Справочник/ Под ред. В.Д. Малинского. — М.: Машиностроение, 1993. — 576 с.
2. Данилин Н.С. Неразрушающий контроль качества продукции радиоэлектроники. — М.: Изд-во стандартов, 1976. — 240 с.
3. Вейнберг А.В., Писаренко Г.С. Механические колебания и их роль в технике. — М.: Физматгиз, 1985. — 232 с.
4. Ключев В.В., Соснин Ф.Р., Филинов В.Н. и др. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник/ Под ред. В.В. Ключева. — М.: Машиностроение, 1995. — 488 с.
5. Матвеев С.Е., Кофанов Ю.Н., Ройzman В.П. Методы системного анализа вибрационной прочности изделий. — М.: Радио и связь, 2002. — 178 с.