

Министерство образования и науки РФ
Правительство Пензенской области
Академия информатизации образования
Академия проблем качества РФ
Российская академия космонавтики им. К.Э.Циолковского
Российская инженерная академия
Вычислительный центр РАН им. А.А.Дородницына
Институт испытаний и сертификации ВВТ
ОАО «Радиотехнический институт имени академика А.Л.Минца»
ОАО «УПКБ ДЕТАЛЬ», ОАО «РУБИН»
ОАО «НИИФИ», ОАО «ПНИЭИ»,
ФГУП ФНПЦ «ПО СТАРТ», НИКИРЭТ, ЗАО «НИИФИиВТ»
ОАО «ППО ЭЛЕКТРОПРИБОР», ОАО «РАДИОЗАВОД»
Пензенский филиал ФГУП НТЦ «АТЛАС»
ОАО «ТЕХПРОММАШ», МИЭМ НИУ ВШЭ,
Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева
Сургутский институт мировой экономики и бизнеса «ПЛАНЕТА»
Пензенский государственный университет



ТРУДЫ
МЕЖДУНАРОДНОГО СИМПОЗИУМА

НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО

II том

ПЕНЗА 2015

УДК 621.396.6:621.315.616.97:658:562
Т78

Т78 **Труды Международного симпозиума «НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО»:**
в 2 т. - Пенза : ПГУ, 2015. – 2 том – 384 с.

ISBN 978-94170-818-5(т.1)
ISBN 978-94170-818-8

В сборник трудов включены доклады юбилейного XX-го Международного симпозиума «Надежность и качество», проходившего с 25 по 31 мая 2015 г. в городе Пензе.

Рассмотрены актуальные проблемы теории и практики повышения надежности и качества; эффективности внедрения инновационных и информационных технологий в фундаментальных научных и прикладных исследованиях, образовательных и коммуникативных системах и средах, экономике и юриспруденции; методов и средств анализа и прогнозирования показателей надежности и качества приборов, устройств и систем, а также анализа непараметрических моделей и оценки остаточного ресурса изделий двойного назначения; ресурсосбережения; проектирования интеллектуальных экспертных и диагностических систем; систем управления и связи; интерактивных, телекоммуникационных сетей и сервисных систем; экологического мониторинга и контроля состояния окружающей среды и биологических объектов; исследования физико-технологических процессов в науке, технике и технологиях для повышения качества выпускаемых изделий радиопромышленности, приборостроения, аэрокосмического и топливно-энергетического комплексов, электроники и вычислительной техники и др.

Оргкомитет благодарит за поддержку в организации и проведении Международного симпозиума и издании настоящих трудов Министерство образования и науки РФ, Правительство Пензенской области, Академию проблем качества РФ, Российскую академию космонавтики им. К. Э. Циолковского, Российскую инженерную академию, Академию информатизации образования, Вычислительный центр РАН им. А. А. Дородницына, Институт испытаний и сертификации ВВТ, ОАО «Радиотехнический институт имени академика А.Л. Минца», ОАО «УПКБ ДЕТАЛЬ», ОАО «НИИФИ», ФГУП «ПНИЭИ», ОАО «РУБИН», ОАО «РАДИОЗАВОД», ОАО «ППО ЭЛЕКТРИПРИБОР», ФГУП «ПО «СТАРТ», НИКИРЭТ – филиал ФГУП «ПО «СТАРТ», Пензенский филиал ФГУП НТЦ «АТЛАС», ОАО «ТЕХПРОММАШ», МИЭМ НИУ ВШЭ, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Сургутский институт мировой экономики и бизнеса «ПЛАНЕТА», Пензенский государственный университет.

Сборник статей зарегистрирован в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ) с 2005 г.

Редакционная коллегия:

Юрков Н. К. - главный редактор

Трусов В. А. - ответственный секретарь

Баннов В. Я. - ученый секретарь

**Волчихин В. И., Абрамов О. В., Авакян А. А., Дивеев А.И., Иофин А. А., Каишанов В. А.,
Майстер В. А., Острейковский В.А., Петров Б. М., Писарев В. Н., Роберт И. В., Романенко Ю. А.,
Северцев Н. А., Садыков С. С., Садыхов Г. С., Увайсов С. У.**

ISBN 978-94170-818-5(т.1)
ISBN 978-94170-818-8

© Оргкомитет симпозиума, 2015
© ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», 2015

УДК 629.73.08

Кочегаров И.И., Можсеев С.А.

ФГОУ ВПО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

БЕСКОНТАКТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ВИБРАЦИИ

Современные технологии требуют непрерывного контроля за многими параметрами технологического процесса и контроля состояния оборудования. Одними из важнейших являются параметры механического движения, в частности параметры периодических перемещений исследуемого объекта в пространстве - вибрации. Этими параметрами являются амплитуда и частота вибрации [1].

Подобный контроль необходим в самых разных областях: в полупроводниковой электронике (контроль вибрации установок для выращивания кристаллов), в микроэлектронике (вибрация установок фотолитографии), в машиностроении (вибрация станков и биение деталей), в автомобильной промышленности (контроль вибрации отдельных узлов автомобилей и всего автомобиля в целом), на железнодорожном транспорте (датчики приближения поезда), в энергетике (контроль вибрации лопаток газовых турбин), в авиастроении (контроль биений турбин) и т.д.

Существует две группы методов измерения параметров вибрации:

контактные, подразумевающие механическую связь датчика с исследуемым объектом,

бесконтактные, т.е. не связанные с объектом механической связью.

Контактные методы обладают целым рядом недостатков, таких как:

невозможность измерения вибраций высокой частоты и малой амплитуды вследствие своей высокой инерционности, приводящей к искажению формы сигнала (измерение вибрации с помощью пьезоэлектрических датчиков);

если масса исследуемого объекта, а, следовательно, и его инерционность не велика, то датчик может существенно влиять на характер вибрации, что вносит дополнительную ошибку в измерения;

метод открытого резонатора требует постоянства мощности, подводимой к резонатору и высокой стабильности частоты возбуждения;

Так как механическая связь датчика с исследуемым объектом далеко не всегда допустима, в последние годы основное внимание уделяется разработке бесконтактных методов измерения параметров вибрации. Кроме того, их общим достоинством является отсутствие воздействия на исследуемый объект и пренебрежительно малая инерционность.

Все бесконтактные методы измерения вибрации основаны на зондировании объекта звуковыми и электромагнитными волнами.

Одной из последних разработок является метод ультразвуковой фазометрии. Он заключается в измерении текущего значения разности фаз опорного сигнала ультразвуковой частоты и сигнала, отраженного от исследуемого объекта. В качестве чувствительных элементов используется пьезоэлектрическая керамика.

На частоте ультразвука 240 кГц. чувствительность измерения виброперемещения 10 мкм. в диапазоне от 10 до 5×10 мкм, расстояние до объекта до 1,5 м. На частоте 32 кГц. чувствительность 30 мкм, расстояние до объекта до 2 м. С ростом частоты зондирующего сигнала чувствительность растет.

В качестве достоинств метода можно отметить дешевизну и компактность аппаратуры, малое время измерения, отсутствие ограничения снизу на частотный диапазон, высокую точность измерения низкочастотных вибраций. Недостатками являются сильное затухание ультразвука в воздухе, зависимость от состояния атмосферы, уменьшение точности измерения с ростом частоты вибрации.

Большое распространение получили методы, основанные на зондировании объекта видимым светом. Все оптические методы подразделяются на две группы:

методы, основанные на регистрации эффекта Доплера;

голографические методы.

На Доплеровском эффекте основывается лазерная виброметрия. Лазерная виброметрия – современный, качественно новый уровень измерения параметров механических колебаний объектов. Уникальные физические особенности лазерных методов определяют многие их достоинства:

возможность дистанционного бесконтактного измерения вибрации;

отсутствие влияния на резонансные свойства объектов, в том числе микроскопических размеров;

возможность измерений без предварительной подготовки поверхности объекта;

оперативное измерение вибраций в различных точках объекта в опасной для персонала зоне (химически агрессивной, с высокой температурой, радиацией и т.д.) [2].

Свое место лазерные виброметры находят в различных областях науки, промышленности, а также в медицине.

Вот некоторые примеры использования лазерных доплеровских виброметров (ЛДВ):

авиакосмическое – ЛДВ в этом случае являются инструментами диагностики компонентов летательного аппарата;

акустическое – ЛДВ – стандартные инструменты акустической системы, которые также помогают диагностировать и настраивать музыкальные инструменты;

автомеханическое – ЛДВ активно используются во многих автомеханических приложениях таких, как динамика конструкций, диагностика разрушений, определение величин шума, вибрации и волнистости;

биологическое – ЛДВ используются для диагностики слухового аппарата в медицине, а также для исследования коммуникации между насекомыми;

калибровка – С тех пор как ЛДВ измеряют смещения, калибруемые до длины волны света, они часто используются для калибровки других типов преобразователей;

диагностика жесткого диска – ЛДВ широко применяются для диагностики жестких дисков преимущественно для позиционирования головки;

детектирование наличия мин – ЛДВ показали многообещающие результаты в сфере определения положения спрятанных мин. В этой методике используется такой аудио источник, чтобы взволновать землю и заставить ее колебаться в очень малых пределах. Затем ЛДВ измеряет эти колебания земли, и области поверхности над спрятанной миной показывают повышенный уровень виброскорости на резонансной частоте пустой породы [3].

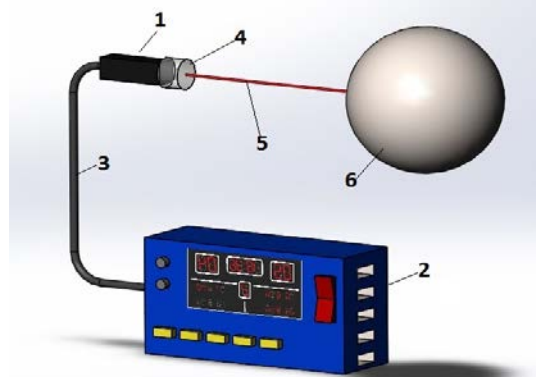


Рисунок 1 – Принципиальная схема лазерного виброметра.

1 – Измерительная головка; 2 – электронный блок; 3 – соединительный кабель; 4 – объектив; 5 – луч лазера; 6 – объект измерения [4].

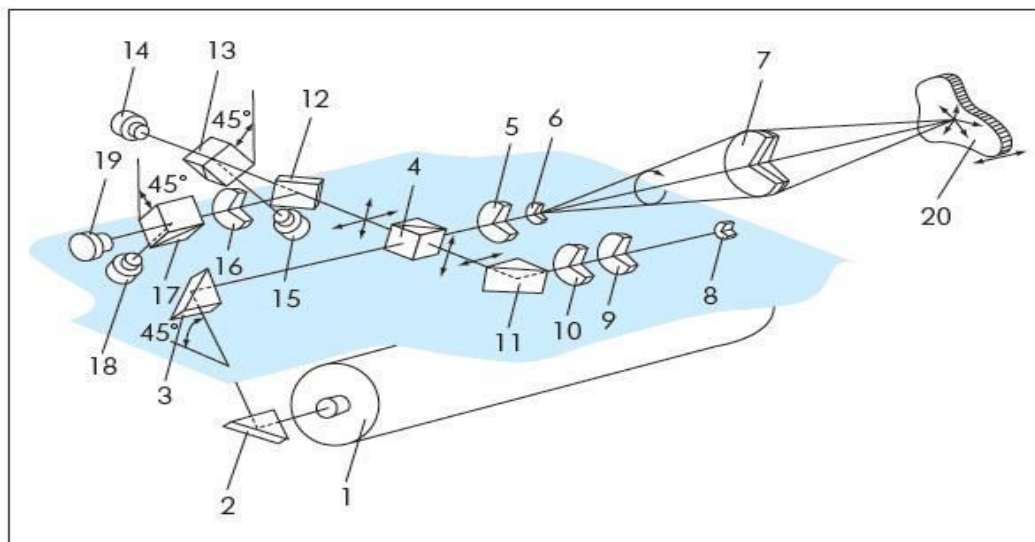


Рисунок 2 – Оптическая схема лазерного виброметра. 1 – гелий-неоновый лазер; 2, 3, 11 – поворотные призмы; 4, 13, 17 – призмы-поляризаторы; 5, 10, 16 – четвертьволновые фазовые пластины; 6 – окуляр телескопической системы; 7 – объектив телескопической системы; 8, 9 – диэлектрическое зеркало и объектив оптической системы фазового сопряжения волновых фронтов сигнального и опорного пучков; 12 – неполяризующий делитель мощности лазерного пучка; 14, 15, 18, 19 – фотоприемники; 20 – исследуемый объект

Принцип работы лазерного виброметра основан на доплеровском сдвиге частоты оптического (лазерного) излучения, отраженного от движущегося объекта. В этом случае применяют метод оптического гетеродинамирования отраженного от объекта слабого оптического сигнала на основе двухлучевой интерференционной оптической схемы с последующим формированием квадратурных компонент электрического сигнала фотодетекторами балансного типа. Микропроцессоры, входящие в состав лазерного виброметра, производят цифровую обработку и анализ вибрационных сигналов. Результаты в виде спектрограмм или осциллограмм отображаются на экране. В общем виде лазерный виброметр показан на рис.1.

В основе оптической схемы виброметра лежит классическая схема интерферометра Майкельсона. Базовые структурные элементы оптической системы виброметра (рис.2): лазерный источник монохроматического излучения; телескопическая система, выполняющая функции приемо-передающей "оптической антенны"; оптическая система сопряжения волновых фронтов сигнальной и опорной волны типа "кошачий глаз"; фотоприемные модули балансного типа; оптический делитель-смеситель для формирования и пространственного совмещения опорного и сигнального лазерных пучков.

Сложность и особенности схемы обусловлены техническим назначением виброметра и связаны со значительным (на 5-7 порядков) ослаблением принимаемой световой мощности лазерного пучка, направляемого на объект, а также со спекл-структурой распределения интенсивности волнового фронта диффузно отраженного излучения лазера.

Лазерный пучок от лазера (обычно используют гелий-неоновый с длиной волны $\lambda=0,63$ мкм) поворотными призмами 2 и 3 направляется на поляризующий делитель 4, где разделяется на два пучка равной мощности: сигнальный (трасса 4, 5, 6, 7, 20) и опорный (трасса 4, 11, 10, 9, 8) со взаимно-ортогональными поляризациями. Телескопическая

система (6, 7) в сигнальном плече интерферометра предназначена для фокусировки излучения на поверхности объекта. Эта фокусировка должна быть достаточной для того, чтобы спекл-структура фронта отраженной волны ("спекл-поле") воспринималась, при соответствующем наведении излучения на объект, как квазиоднородная монохроматическая волна. Четвертьволновые фазовые пластины (5, 10) производят поворот поляризации сигнального и опорного пучков на 90° относительно исходных. Это необходимо для беспрепятственного прохождения ими поляризующего делителя (4) в направлении к неполяризующему делителю (12), ориентированному к пучкам под углом 45° и разделяющему каждый из них на два идентичных пучка. Лазерные пучки после делителя (12) попадают в фотоприемные модули (13, 14, 15) и (17, 18, 19), в состав которых входят по два фотоприемника и по одному делителю-поляризатору типа (4). Указанная на схеме ориентация делителей под углом 45° обеспечивает формирование сдвинутых по фазе на 180° интерференционных сигналов в каждой паре фотоприемников: (14, 15) и (18, 19) соответственно. Это позволяет при вычитании инвертированных электрических сигналов с выходов фотоприемников улучшить отношение сигнал/шум. Фазовая пластина (16) осуществляет относительный сдвиг фазы оптических сигналов на четверть периода, чтобы в фотоприемных модулях формировались квадратурные электрические сигналы.

Общими недостатками оптических методов измерения вибрации являются сложность, громоздкость и высокая стоимость оборудования, большое энергопотребление, высокие требования к качеству поверхности исследуемого объекта, высокие требования к состоянию атмосферы (определенная влажность, отсутствие запыленности и т.п.). Кроме того, лазерное излучение оказывает вредное влияние на зрение обслуживающего персонала и требует дополнительных мер предосторожности и защиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.eurolab.ru/izmerenie_vibracii_pribory : Измерение вибрации. Приборы для измерения вибрации.
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Laser_Doppler_vibrometer : Лазерный Доплеровский виброметр.
3. http://www.laser-portal.ru/content_193 : Лазерная виброметрия.
4. <http://lasertechnics.org/report.pdf> : Научно-технический отчет «Анализ эффективности применения лазерного вибропреобразователя для бесконтактной диагностики авиационного газотурбинного двигателя (ГТД) в процессе наземных запусков».
5. Северцев, Н.А. К вопросу об утрате работоспособности систем / Н.А. Северцев, А.В. Бецов, А.М. Самокутяев // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2013. Т. 2. С. 268-270.
6. Универсальные оценки безопасности. Монография / Дивеев А.И., Северцев Н.А. // Москва, 2005.

7. Синтез оптимального закона управления потоками транспорта в сети автодорог на основе генетического алгоритма / Дивеев А.И., Северцев Н.А. // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2003. № 3. С. 87.
8. Северцев, Н.А. Минимизация обобщенного риска угроз безопасности / Н.А. Северцев // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем. 2005. № 7. С. 3-10.
9. Критерии и показатели безопасности / Дедков В.К., Северцев Н.А., Петухов Г.В., Тихон Н.К. // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем. 1999. № 1. С. 33-54.
10. Баранов, Н.А. Управление состоянием готовности системы безопасности к отражению угрозы / Н.А. Баранов, Н.А. Северцев // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2012. Т. 1. С. 8-10.
11. Дедков, В.К. Компьютерное моделирование характеристик надежности нестарееющих восстанавливаемых объектов / В.К. Дедков, Н.А. Северцев // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2010. Т. I. С. 368-370.
12. Кочегаров И.И. Методы контроля дисперсности порошков / Кочегаров И.И., Трусов В.А., Юрков Н.К. // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2010. Т. 2. С. 475-477.

УДК 629.73.08

Мягков Н.Ю., Кирдяев М.М.

ФГОУ ВПО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Электромагнитная совместимость (ЭМС) определяет способность технических средств функционировать «в предусмотренном режиме, в заданной электромагнитной обстановке и при этом не создавая электромагнитных помех другим техническим средствам» [1]. Электромагнитные помехи (ЭМП) могут вызывать нарушения функционирования электротехнических и электронных систем, затруднять использование радиочастотного спектрального ресурса, вызывать возгорание легковоспламеняющихся газообразных средств, воздействовать на ткани тела человека. Одним из эффективных средств обеспечения ЭМС радиоэлектронных средств и защиты их от ЭМП является экранирование. Наряду с такими методами как зонирование, фильтрация, заземление и ограничение перенапряжения, экранирование остаётся в ряде случаев единственно возможным решением задачи снижения уровня воздействующих полей на радиоэлектронные средства или устранение помехоэмиссии от технических средств. С повышением быстродействия электронных средств, применение схемотехнических методов (фильтрация, установка ограничителей) не всегда представляется возможным из-за их влияния на быстродействие системы. Поскольку быстродействие является приоритетным показателем при создании самого широкого класса перспективных электронных средств, значение экранирования резко возрастает [2].

Эффекты ЭМП в технических средствах вызывают постоянно растущее беспокойство разработчиков и конструкторов из-за повышения чувствительности компонентов систем к электромагнитным воздействиям,

расширения частотного диапазона и уровня мощностей этих воздействий, а также лавинообразного роста источников помех самой разнообразной природы. Для радиоэлектронных средств специального применения следует учитывать определённую вероятность наличия преднамеренных мощных сверхширокополосных электромагнитных воздействий. Это ставит перед разработчиками аппаратуры ещё более сложные задачи по её защите.

В концепции ЭМС выделяются источники и рецепторы помех, а также среда распространения помех от источника к рецептору. Электромагнитной помехой может являться практически любое электромагнитное явление в рамках широкого диапазона частот. Источник помеховых электромагнитных возмущений может располагаться вне рассматриваемой электронной системы, но он также может располагаться и внутри этой системы. В данном случае одна часть системы является источником, а другая - рецептором [3].

Источники помех бывают природного и искусственного происхождения. Наиболее мощными природными источниками помех являются разряды молний, генерирующие значительные токи в системе молниезащиты, и электрические поля высокой напряжённости. Источниками искусственного происхождения могут быть самые разнообразные устройства

и системы, начиная от мощных радиопередающих устройств и заканчивая микропроцессором. Наиболее мощными искусственными источниками электромагнитного излучения являются ядерные взрывы. С возрастанием высоты взрыва, увеличивается пробег всех излучений, выходящих из зоны взрыва. Возрастает область ионизации. [4] При взрывах на высотах 80 – 100 км пробег рентгеновского излучения (электромагнитное излучение, занимающее спектральную область между гамма- и ультрафиолетовым излучением в пределах длин волн от 10–8 до 0,1 мкм) в горизонтальном направлении составляет

несколько километров, а на больших высотах десятки и сотни километров. 80% энергии космического взрыва идёт на образование рентгеновского излучения. Существуют лазеры с ядерной накачкой, которые фокусируют рентгеновское излучение в узкий пучок энергии и направляют на объект, например на головную часть баллистической ракеты [5]. При этом происходит механическое повреждение ракеты. Поражающее действие высотных ядерных взрывов рассматривают, как правило, на воздушные и космические цели, а на наземные объект (личный состав, радиоэлектронную и электротехническую аппаратуру) - только воздействие ЭМИ. Характер поражающего действия электромагнитного импульса высотных ядерных взрывов сходен с характером поражающего действия ЭМИ наземных и воздушных взрывов. Отличие высотного ядерного взрыва состоит в том, что большие токи напряжения наводятся на кабельных, воздушных линиях и других элементах. Они расположены не только вблизи эпицентра взрыва, но и на расстоянии сотен километров от него. [6] Вследствие этого, личный состав, радиоэлектронная и электротехническая аппаратура могут быть выведены из строя от воздействия ЭМИ высотного ядерного взрыва, находясь на безопасных удалениях от поражения другими поражающими факторами.

В любом случае источник возбуждает электромагнитное поле с определенной частотой или, что наиболее типично, в широком диапазоне частот. При взаимодействии переменного электромагнитного поля с цепями электронного средства, имеющими вполне конкретную физическую реализацию, в этих цепях возникают токи и напряжения соответствующих интенсивностей. При превышении наведенными токами и напряжениями определенных пороговых уровней в рецепторе происходят события, приводящие к нарушениям функционирования.

Вероятность превышения наведенными токами и напряжениями пороговых уровней зависит от многих факторов, основными из которых являются:

- уровни электромагнитного возмущения источника помех;
- уровень восприимчивости рецептора помех;
- ослабление электромагнитного возмущения при его распространении от источника до чувствительных цепей рецептора;