

# КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ МОДАЛЬНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ



Компании Briel & Kjaer, Ometron и ENCECO сформировали альянс, покрывающий все области модального тестирования и создающий единый центр, задачей которого является становление наиболее предпочтительным местом для всех нужд моделирования. Альянс стоит на обширных резервах и опыте своих участников, созданных на протяжении десятилетий для обеспечения решений модального тестирования, включающих все от ударных молотков, преобразователей и бесконтактных виброметров до стендов для сбора и анализа информации и программного обеспечения для модального анализа.

010029

## Введение в модальное тестирование

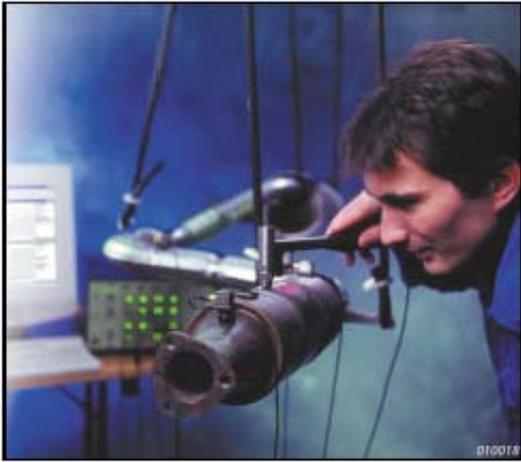


Рис. 1. Модальное тестирование является мощным инструментом для исследования многих корневых проблем, связанных с вибрацией. Вооруженный соответствующим инструментом экспериментатор может получить уникальную возможность заглянуть в суть динамических свойств испытуемого объекта.

Все машины транспортные средства и строения подвержены динамическим нагрузкам, вызывающим вибрацию. Очень часто вибрация и связанные с ней воздействия требуют изучения, поскольку они ведут к непосредственным проблемам или структура требует "очистки" для доведения до "стандартных" или тестовых спецификаций. Любые вибрационные проблемы идут по трединому пути: "источник-проводник-приемник", и экспериментальный модальный анализ, или модальное тестирование, может рассматриваться в качестве анализа проводника в том смысле, что он описывает, как нестационарные нагрузки накладываются на вибрации внутренними структурными динамическими свойствами. Для построения математической модели таких динамических свойств экспериментальными средствами является основной задачей модального тестирования.

После создания и отладки математической модели тестируемой структуры возможно использовать следующий мощный инструментарий:

- Уточнение конечной аналитической Модели конечных элементов (МКЭ).
- Модификация структурной динамики.
- Использование сценариев динамических нагрузок, позволяющих предсказывать структурные реакции.
- Структурный анализ компоновки.
- Поиск и устранение неисправностей.

Большинство акустических и вибрационных проблем связаны с феноменом резонанса, когда рабочие усилия вызывают один или более видов вибрации. Виды вибрации, находящиеся в частотном диапазоне работающих динамических нагрузок, всегда представляют потенциальные проблемы. Важным свойством таких видов является то, что любая принудительная или свободная динамическая реакция структуры может быть сведена к приемлемому набору видов.

Модальными параметрами, вызывающими вибрацию, являются:

- Модальная частота.
- Модальное демпфирование.
- Форма вида.

Модальные параметры всех видов в пределах диапазона интересующих частот создают полное динамическое описание структуры. Таким образом, виды вибрации представляют внутренние динамические свойства структуры.

Модальное тестирование представляет собой процесс выявления всех модальных параметров, достаточных для формулирования математической динамической модели.

## Все в одном месте

Альянс компаний Briel & Kjaer, Ometron и ENDEVCO охватывает все уровни модального тестирования и каждое звено в цепи измерений. Ставя перед собой цель стать вашим излюбленным центром "Все в одном месте", где вы можете удовлетворить все свои нужды в области модального тестирования - от единственного преобразователя до полной системы "под ключ", вы можете положиться на нас, как на поставщиков превосходной технологии, непревзойденного качества продукции и внимательного отношения к каждой детали в цепи измерений.



010017

Рис. 2. Высококачественные, надежные результаты тестирования полностью зависят от качества и цельности измерительной цепи.

Для того, чтобы обеспечить вам возможность обновить вашу систему модального тестирования новейшими разработками, все наши преобразователи, кабели, кондиционеры, система анализа и калибровки были тщательно спроектированы для обеспечения высочайшего возможного уровня интеграции.

С нашими знаниями, основанными на более, чем 50 летнем опыте в модальном тестировании, мы постоянно фокусируемся на инновации, чтобы держать нашу марку на акустическом и вибрационном рынке. Именно по этому мы можем производить полностью укомплектованные для заказчика модальные решения для удовлетворения всех ваших желаний.

### **...неважно, что может вам понадобиться для модального тестирования:**

- Технологии в области пьезоэлектрики, DeltaTron<sup>®</sup>, ISOTRON<sup>®</sup>, интегрированной электронной пьезоэлектрики (IEPE), пьезорезисторов, переменных конденсаторов или бесконтактных вибрационных преобразователей.
- Преобразователи с развитой логикой, совместимые со стандартами IEEE P1451.4.
- Оборудование для установки, позиционирования и ориентации.
- Токовое, питающее оборудование.
- Системы сбора и анализа данных.
- Спектр программного обеспечения для автоматизации процессов, измерений и анализа.

### **... или каковы размеры вашей системы:**

- Небольшие, обычно 2-7 канальные системы для обнаружения неисправностей.
- Среднего размера, обычно на 8-64 канала для легковесных и усложненных структур, а также для структурного динамического тестирования компонентов.
- Крупные структуры, обычно имеющие свыше 64 каналов, использующиеся для крупных, комплексных и бисимметричных структур.



Рис. 3. Внимательно относясь ко всем деталям применения модального тестирования, мы разработали полный комплект оборудования, требуемого для получения успешных результатов

## Технологии преобразователей

Рис. 4. Альянс Briel & Kjaer, Endevco и Ometron предлагает своим клиентам наиболее полный в мире диапазон преобразователей

### Самое отборное



Briel & Kjaer, Endevco и Ometron предлагают наиболее полную в акустической и вибрационной промышленности линию высокоэффективных, экономичных, прочных и легких одноосных и трехосных сенсоров. Сюда входят пьезоэлектрические, ISOTRON®, DeltaTron®, пьезорезисторные, с переменной емкостью, серводатчики ускорения и лазерные доплеровские виброметры. Широкий диапазон качественных соединений, кабелей и элементов крепежа обеспечивают оптимальную интеграцию измерений, простоту установки и надежность данных.

Уникальная приверженность качеству привела к полному внутреннему производству, что включает производство пьезоэлектрических материалов, кабелей и креплений и микрообработку пьезорезисторных акселерометров. В отличие от многих производителей, модальные акселерометры Briel & Kjaer и ENDEVCO основываются на многих типах пьезоэлектрических материалов, а конструкция сенсорных элементов обеспечивает лучшую эффективность во всех областях модального применения.

### Бесконтактный точечный и сканирующий доплеровский лазерный виброметры



Рис. 5. Лазерные доплеровские виброметры

Лазерные доплеровские виброметры обеспечивают быстрые и точные замеры вибрации без нагрузки в сложных климатических условиях. Способность сканировать обширные площади с крайне высоким пространственным разрешением является их уникальной чертой. Лазерные доплеровские виброметры являются оптическими инструментами, предназначенными, в основном, для точных, эффективных и быстрых бесконтактных измерений вибрации поверхности. Они широко используются в тех случаях, когда обычные контактные датчики вибрации непрактичны или запрещены. Точное и надежное нацеливание позволяет избежать нагрузок на объект измерения, сложной процедуры установки и кабельной обвязки датчиков вибрации. Основанные на безопасных для глаз и видимых HeNe лазерах класса II, системы позволяют избежать необходимости в специальном и дорогом оборудовании, а также в средствах защиты.

Лазерные доплеровские виброметры типов 8329, 8333 и 8334 являются точечными лазерами, идеальными для различного применения, включая измерения при очень низких или высоких температурах, в среде, загрязненной ядерными или химическими элементами, а также в мощных магнитных полях. Превосходная оптическая чувствительность позволяет делать замеры с рабочих расстояний от 0.05 до 200 м (типы 8333 и 8334) с минимальной точкой до 0.2 мм - без применения ретро-рефлективной пленки или краски.

Сканирующий лазерный доплеровский виброметр типа 8330 обладает развитой логикой, полно-полевой системой, которая быстро создает вибрационные карты, отражая структурную реакцию во многих точках измерения. Поразительная компактность в сочетании с выдающейся оптической чувствительностью, отсутствие гистерезиса, шаговые моторы с цифровым управлением, стандартная линия 6400 FFT делают тип 8330 идеальным выбором для требовательной лаборатории или полевой работы.

Неукоснительное внимание к деталям при разработке дало в результате сверхточное, 16-битовое цифровое управление зеркалом, позволяющее регулировать его с угловым шагом 0.6102 миллиградуса и встроенный FFT анализатор, основанный на высококлассной 4-канальной, 20 кГц цифровой панели. Панель является стандартным оборудованием и имеет два встроенных генератора для выбора единого входного сигнала или множественного ввода тестового сигнала.

Особенно важным для малых тестируемых объектов и повторных замеров является способность обеспечивать истинное однозначное соотношение между реальностью и тем, что отображается на экране. Сканирующий лазерный доплеровский виброметр типа 8330 достигает этого, поскольку встроенная цветная ПЗС камера находится в отличном коллинеарном сопряжении с лучом лазера. Система управляется либо персональным компьютером со специальным программным обеспечением, причем возможна установка прогрессивного программного обеспечения для интегрированного модального анализа, или же непосредственно через такие системы, как MTS® I-DEAS® Master Series.

### Раз, два, готово!

Правильный монтаж акселерометров для использования при экспериментальном модальном анализе является критическим. Метод установки и обслуживание обычно являются ограничиваемыми факторами для получения максимальных измеряемых частот. Смещение при установке по отношению к определенной координатной системе может серьезно нарушить качество модальной модели. Учитывая это, мы разработали диапазон установочных зажимов для наших специальных модальных акселерометров. Сделанные из армированного стеклом поликарбоната, зажимы могут устанавливаться с использованием горячего клея или двусторонней липкой ленты. Ниже показаны четыре различных типа, выпускаемых в различных размерах.:

- **Нормальный** - для относительно плоских поверхностей, где практически не требуется снятия материала для обеспечения оптимального поверхностного контакта.
- **С утолщенным основанием** - для изогнутых или неровных поверхностей. Такой тип может легко обрабатываться напильником для подгонки к нужной поверхности.
- **С поворотным основанием** - Обеспечивает превосходную простоту установки на изогнутых поверхностях по сравнению с традиционными методами установки. Независимо от структуры испытываемой поверхности, этот зажим обеспечивает надежную регулировку и ориентировку всех и каждого преобразователей, установленных на тестируемый объект без необходимости применения обычного метода вырезания деревянных блоков по форме. Точная регулировка с заданной глобальной координатной системой никогда не была проще!
- **Высокотемпературные** - для работы в условиях температуры от -55 до 175°C (от -67 до 347°F) или, если допустима потеря цвета - от -55 до 250°C (от -67 до 482°F).



Рис. 6. Простота установки и регулировки вибрационных датчиков обеспечивает не только простоту монтажа и демонтажа, но и помогает обеспечить высочайшее качество данных.

## Работать умнее, а не больше



Рис. 7. Оборудованные системой TEDS преобразователи содержат все соответствующие спецификации внутри своего корпуса, в специальном формате, определенном IEEE P1451.4

Представьте себе, что все преобразователи, используемые в модальном анализе, могут автоматически передавать свои характеристики и установочную информацию системе с программным обеспечением по одному щелчку мышки. Определенное количество преобразователей от Briel & Kjaer и ENDEVCO, оснащенных Электронной Базой данных для преобразователей (Transducer Electronic Data Sheet - TEDS) предлагают инженерам испытателям именно это. Наша измерительная система на базе TEDS соответствует стандарту IEEE P1451.4. Она позволяет автоматически регулировать чувствительность канала, передавать системам сбора данных калибровочные данные в отношении чувствительности и дня, а также проводить проверку верности калибровочных данных через нужные интервалы.

TEDS также включает данные по конкретным преобразователям, которые, вместе с общей формулой, лучше всего подходят для измеряемой частотной характеристики. Использование ручного программатора ENDEVCO, установка в TEDS преобразователь конкретных данных, таких, как координаты позиции, ориентация и полярность может быть осуществлена на месте. Преимущества, получаемые от такой автоматической идентификации акселерометров огромны. Использование встроенных цифровых блоков памяти в датчиках и электронных устройствах буквально устраняют фактор человеческой ошибки, например, ошибки при вводе данных или неправильные кабельные соединения. Вы можете также менять преобразователи "на лету" без необходимости смены настроек - истинная технология "Plug and Play". Лучше всего то, что такие особенности значительно сокращают время на установку аппаратных средств и программного обеспечения.

## Модальное возбуждение

**Ударные молотки:** быстрый, точный и отличный для полевых работ инструмент

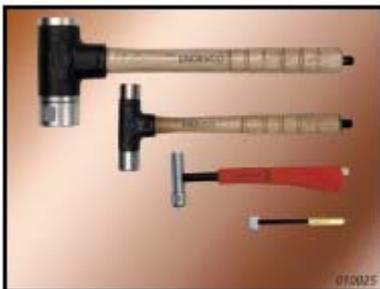


Рис. 8. Ударные молотки являются идеальными для полевого модального тестирования: возбуждение образуется быстро, инструмент портативен и не требует сложного оборудования или установки возбудителей.

Шкальные модальные модели требуют точного замера усилия. Этого можно достичь, используя молоток, оснащенный высококачественным пьезоэлектрическим преобразователем силы или возбудителями, контролируемые сигнал генератором через усилитель мощности.

В ситуациях, где высокий пик-фактор и ограниченность возможности формировать спектр входных сил не являются важными, ударный молоток является идеальным источником возбуждения. Тестирование с ударным молотком быстро, не требует сложного модального возбуждающего оборудования и громоздкой обвязки. Они портативны и весьма пригодны для полевых работ. Кроме того, ударные молотки относительно недороги и не дают нежелательной нагрузки на тестируемую структуру.

*Комплект с ударными молотками - все по высшим спецификациям*

Годы опыта в области структурных динамических измерений с использованием ударных молотков для тестирования привели к появлению одного из лучших в промышленности диапазонов ударных молотков. Какие бы структуры вам не нужно было тестировать - от крупных строительных инженерных структур до самых маленьких дисководов, вы можете рассчитывать на наш опыт и поставку первоклассных и проверенных технологий для проведения оптимальных измерительных работ, качество, долговечность и надежность

Выходы DeltaTron®/ISOTRO® обеспечиваются на всех молотках, за исключением миниатюрного датчика силы Force Transducer/Impact Hammer Type 8203. Молотки практичны и все снабжены эргономичными резиновыми рукоятками. Все они имеют высококачественные пьезоэлектрические датчики силы.

Уникальный конструкторский принцип, известный как компенсация ускорения (Acceleration Compensation) использован в большинстве наших ударных молотков. Это позволяет аккуратно измерять истинный импульс силы снижая в то же время до минимума любую потенциальную ошибку в связи с торможением фронтальной части ударного молотка.

*Жесткая конструкция обеспечивает превосходную эффективность в любой среде.*

Замеры с ударными молотками часто производятся в сложной производственной обстановке, где пыль, температурные перепады и высокая влажность часто предъявляют строгие требования к электрическим и механическим качествам инструментов. Все наши ударные молотки были тщательно спроектированы, чтобы соответствовать требовательным ожиданиям к надежности даже в таких условиях.

## Модальные возбудители



Рис. 10. Полный спектр высококачественных модальных возбудителей и полная линия усилителей мощности и аксессуаров справятся даже с самым сложным случаем модального теста

Получение точных и надежных замеров силы имеет первостепенное значение для успешных модальных испытаний. Когда нужна шкалированная, высокоточная экспериментальная модальная модель, естественным выбором возбуждения является один или несколько возбудителей, и приходится решать немало вопросов перед проведением FRF замеров, например:

- Выбор лучшего размещения возбудителя.
- Снижение до минимума взаимодействия возбудителя и тестируемого объекта.
- Распределение и минимизация уровней динамической силы.
- Обеспечение достаточно низкого входного уровня низкочастотной энергии.

В результате многолетнего опыта в области структурных динамических измерений, все модальные возбудители Briel & Kjaer демонстрируют высокий коэффициент соотношения силы и веса. Они были специально для этого разработаны и помогают обеспечить лучшие возможные результаты модальных тестов с минимальным временем установки.

С индексом силы (синус) от 100Н до 1000Н, легкой арматурой, до 2" ходом, специальной сквозной арматурой для технологии стингера с натянутой проволокой, а также с редкоземельной магнитной технологией (в некоторых типах) эта линия прочных модальных возбудителей готова справиться с наиболее сложными случаями модального тестирования. Многие типы имеют дополнительные встроенные системы преднатяжения стингера, обеспечивающие полную свободу при позиционировании и ориентации возбудителя. Это позволяет применять технологию со стингером натянутой проволоки без традиционного механического предварительного натяжения проволоки..

Имеется полный диапазон усилителей мощности и специального оборудования, позволяющего пользователям получить высочайший уровень измерений и простоту установки..В эту программу входят датчики силы, дроссели, стойки возбудителей для простоты горизонтальной установки, а также комплект стингеров. Двухтактные приводы и различные типы натажной проволоки также имеются для различных методов крепления. Включая замковую защелку для быстрой установки и демонтажа двухтактных стингеров.

## Сбор и анализ данных

Критической задачей модального анализа является получение точной, надежной и непротиворечивой математической модели тестируемой структуры. Для получения модальной модели высшего качества инженеры-испытатели часто сталкиваются с необходимостью организации широкомасштабного модального теста. Это часто требует большого количества каналов приема вибраций, обеспечивающих инвариантные по времени, точные и непротиворечивые FRF данные. Для таких работ инженеры Bruel & Kjaer и ENDEVCO разработали инструментарий, обеспечивающий непротиворечивые, высококачественные, многоканальные измерения и экспериментальные данные.

### **PULSE™, Система -мульти-анализатор**



Рис. 10. Семейство анализаторов PULSE™ предоставляет превосходный уровень универсальности, масштабируемости и модульности. Все это, включая дружественное полномасштабное программное обеспечение, дает оптимальную платформу для структурного динамического тестирования

PULSE™ является многосторонней, ориентированной на задачу системой мульти-анализа. Система может поставляться в широком диапазоне конфигураций - от 2 до более 100 каналов. Программное обеспечение для анализа шумов и вибрации, установленная в PULSE™, может, в целом, применяться для любого типа анализа шумов и вибрации, включая с единым входом и множественным выходом (SIMO) или с множественным входом и множественным выходом (MIMO) для расчетов частотных характеристик в традиционном модальном анализе, или для сбора временных параметров для оперативного модального анализа.

Добавление специального программного обеспечения Modal Test Consultant™ превращает PULSE™ в очень мощную платформу для структурного динамического анализа, нацеленную на сокращение весьма длительного процесса сбора данных, включая подготовку, обработку и проверку таких измерений. Геометрические замеры позволяют вам проставлять ваши точки измерения прямо в геометрическом виде так, как если бы они проставлялись в реальной среде. Это предоставляет почти защищенное от неумелых действий руководство во время процедуры замеров, а также при передаче геометрии и данных измерений на модальное программное обеспечение, например, MEscopeVES™ и Оперативный Модальный Анализ.

### **IDA - Интеллектуальный сбор данных**

Система IDA является полномасштабным внешним интерфейсом, специально разработанным для строгого, масштабного, многоканального сбора акустических и вибрационных данных. В ее характеристики входит способность работать независимо от количества каналов (от 6 до 3000 каналов, частотный диапазон - от постоянного напряжения до 25.6 кГц). Масштабируемая, свободная от провалов запись с применением встроенной памяти, или запись на диск в режиме реального времени. IDA использует LAN соединение с отдельными станциями и располагает полным диапазоном приема входных данных от преобразователей. Прочие характеристики, которые делают IDA уникальной системой внешнего интерфейса, включают постоянный мониторинг каналов, что дает возможность получать моментальную информацию об обрыве или замыкании кабелей.

## Многоканальный сбор данных

### OASIS - Оптимальная архитектура для сенсорной интерфейсной системы



Рис. 11. Для крупномасштабных, многоканальных модальных тестов с сотнями вибрационных преобразователей система OASIS обеспечивает подачу энергии и согласование сигнала ко всем типам акселерометров в компактной и удобной форме

Система OASIS является недорогой системой для высокоплотного согласования сигналов, которая предоставляет интерфейс для многих типов преобразователей (PE, IEPE, PR, а также для VC преобразователей) с использованием модульных карт согласования сигнала 400 серии, которые помещаются в 16 отсеках 19-дюймового блока. Карты согласования сигнала 400 серии могут смешиваться в любой конфигурации, что дает возможность свободно создавать желаемую конфигурацию системы. В дополнение к поддержке IEEE P1451.4 TEDS преобразователей, система предоставляет большое количество удобных характеристик, помогающих уменьшать усилия людей и сократить время на установку теста. Ее функции ввода/вывода делают простой передачу TEDS информации аналитическому программному обеспечению.

### Новые установки для согласования для многоканального применения

Рис. 12. 16-канальный DeltaTron® согласующий усилитель типа 2694 является оптимальным выбором для поставки энергии преобразователям DeltaTron®/ISOTRON®. Несколько установок могут быть объединены в различных конфигурациях для большого количества каналов



Новый диапазон Bruel & Kjaer 16-канальных согласующих усилителей предлагают спектр новых возможностей, которые помогут вам сократить время на установку и значительно повысить надежность измерений.

Четыре версии 16-канальных усилителей контролируются через компьютерный интерфейс RS-232 программным обеспечением на основе Windows®. Это означает, что установки могут быть определены в автономном режиме, а затем загружены в установки. Предоставляя максимальную измерительную гибкость, до 16 установок могут быть объединены и контролируются через каждый COM порт компьютера.. Если не используются, лишние каналы могут быть отключены, что означает, что контроль и передача команд становится быстрее.

Усилители не только предоставляют полную поддержку IEEE P1451.4 (TEDS). Они также поддерживают IEPЕ преобразователи, такие как DeltaTron®/ISOTRO® акселерометры и микрофонные предусилители, напряжение на преобразователях, а также тахометры.

Новые усилители могут использоваться как отдельные установки, так и в общей конфигурации для контроля большого числа каналов. В любом случае, установка многоканальных тестов на основании этих усилителей обеспечивает лучшую комбинацию тестовой надежности, эффективности, интеграции и экономичности.

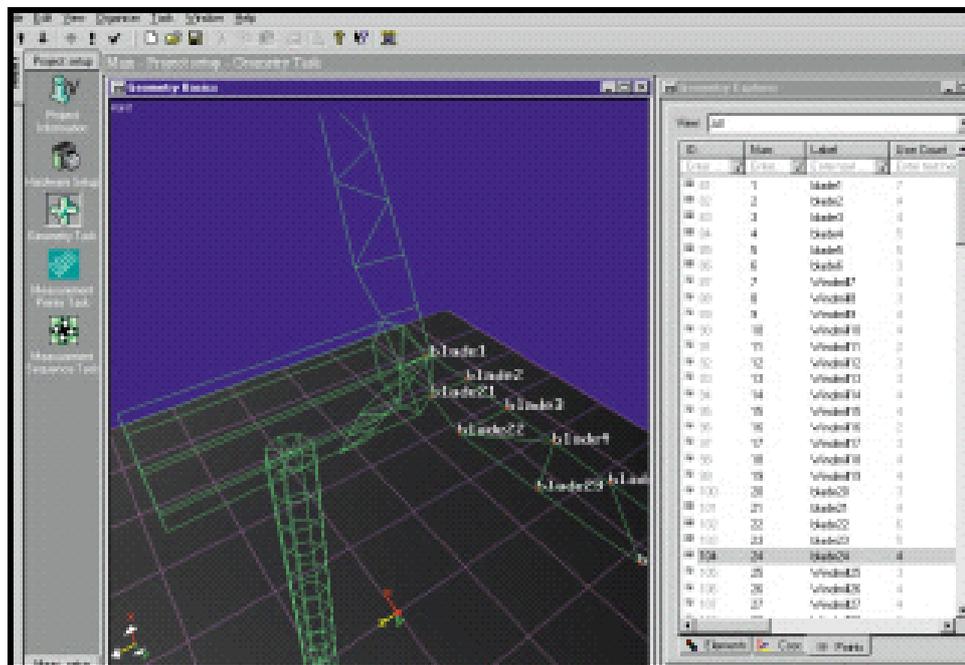
Многоканальные измерения часто проводятся в сложных окружающих условиях, где вибрация, перепады температуры, влажность и электромагнитное излучение часто ведут к повышению требований в отношении электрического и механического качества инструментария. Сглаживающие усилители от Buel & Kjaer были тщательно разработаны для соответствия таким жестким требованиям в отношении надежности данных даже в таких условиях.

## Программное обеспечение

### Сократить время установки

Программное обеспечение Modal Test Consultant® было разработано с целью упрощения и сокращения времени на проведение структурных динамических измерений, таких, как модальное тестирование

Рис. 13. Простота геометрических определений - лишь одно из многих достоинств Modal Test Consulting



Оно основано на концепции, что при проведении модального тестирования установка измерений занимает большую часть времени модального тестирования по сравнению, скажем, с последующей модальной обработкой. В связи с этим Modal Test Consultant сфокусирован на сокращении времени установки и сбора данных. Modal Test Consultant экспортирует геометрию тестируемого объекта со степенью свободы информации и с определенным набором функций

На модальный пост-процессинговый пакет программ по вашему выбору в открытом цифровом формате данных. Modal Test Consultant непосредственно подключается к ME'scoreVES™ группе структурных динамических приложений и к Оперативному модальному анализу для предоставления готового решения по структурному динамическому тестированию.

Программное обеспечение Modal Test Consultant работает с PULSE™ для обеспечения уникальной и специализированной среды для модального тестирования. Все этапы измерения отображаются геометрически и важная информация хранится в табличной форме, что дает непосредственный предварительный вид. Это означает, что вы можете сосредоточиться на самом тестировании и не отвлекаться на второстепенные вопросы, такие, как состояние кабелей или правильного маркирования объекта теста.

### Программное обеспечение для извлечения модальных параметров

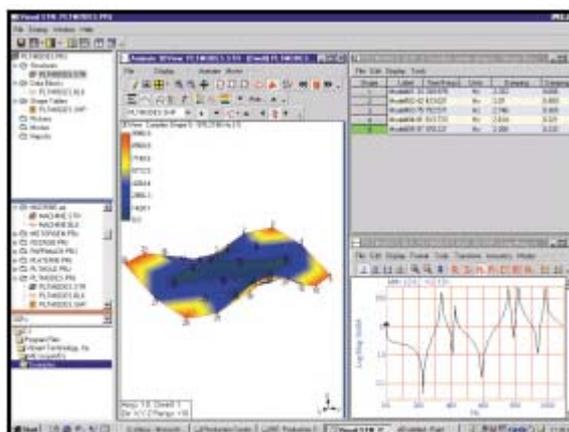
ME'scoreVES является дружественным инструментом для после тестового и структурного анализа, имеющий много функций. Он позволяет вам осмотреть, проанализировать и задокументировать динамическое поведение машин и механических структур. ME'scoreVES работает под ОС Windows® и предоставляет такие функции, как анализ оперативной деформации форм, модальный анализ, анализ множественного ввода/вывода и структурные модификации.

ME'scoreVES способен анимировать как временные, так и частотные параметры. Анимировав измеренные реакции (оперативная отклонения и формы колебаний) структуры в замедленной съемке вы получаете уникальную перспективу динамического поведения структуры. Оперативное отклонение форм или формы колебаний могут быть сохранены в таблице форм.

Аналитическая форма колебаний модели из конечных элементов может быть импортирована в таблицу Форм и сравнена с экспериментальными результатами.

Формы могут быть аналитически сравнены с помощью Критерия модальной уверенности Modal Assurance Criterion (MAC) или посредством отражения их на мониторе совместно и в анимированном виде. ME'scoreVES обеспечивает более реалистичное анимированное изображение структурных деформаций, используя относительно небольшое количество измерений, используя интерполяцию точки измерения. Движение всех неизмеренных точек на модели интерполируются из движения в соседних измеряемых точках.

Рис. 14. ME'scoreVES предлагает высокотехнологичные алгоритмы извлечения модальных параметров в дружественной форме для простого и надежного отображения кривых в соответствии с измеренными данными.



Используя пакеты ME'scoreVES Visual Modal, экспериментальная модальная модель создается кривой, аппроксимированной комплектом FRF измерений. ME'scoreVES располагает четырьмя встроенными методами аппроксимации кривых:

- Квадратурная аппроксимация.
- Пиковая аппроксимация.
- Рациональная дробь полиномиальная.
- Экспоненциальный комплекс наименьших квадратов - одиночный, а также со многими степенями свободы.

Аппроксимации кривых могут использоваться для совмещения по одному или множественному пакету справочных данных FRF. Построение модели в трехмерном виде, дисплей, интерактивная анимация вместе с Digital Movies® являются уникальными характеристиками, которые являются стандартными во всех решениях ME'scopeVES.

### Новые разработки в модальном анализе

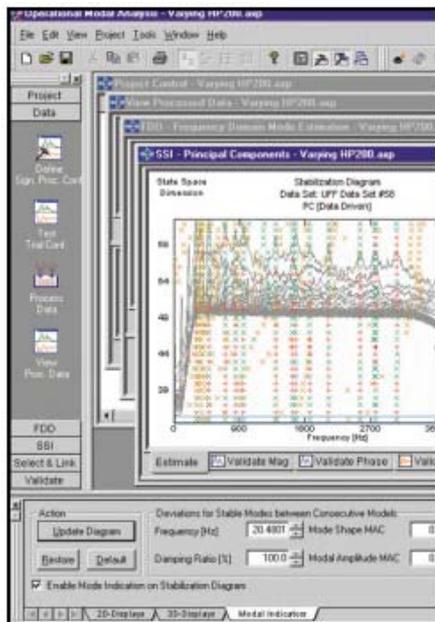


Рис. 15. Программное обеспечение Operational Modal Analysis работает на платформе PULSE®, обеспечивая интуитивно понятный и дружелюбный интерфейс для работы с программой.

В традиционном модальном анализе модальные параметры находятся посредством подгонки модели по функциям частотных характеристик, сопоставляя возбуждающие силы вибрационным реакциям. В Оперативном модальном анализе отсутствует входящая сила, поэтому модальная идентификация основывается только на вибрационных реакциях. Используя полностью отличную идентификационную стратегию становится возможным провести модальное тестирование структур, которые, обычно, сложно или невозможно возбудить.

Некоторые механические структуры сложно возбудить искусственно из-за их размера, формы или просто потому, что сама локация означает, что возбуждающая сила может быть смешана с шумами. Оперативный модальный анализ может применяться в таком случае, но он также дает вам возможность определить модальные параметры структуры в реальной жизни. Это часто важно при тестировании транспорта, работающие машины в целом или детали машин, где модальные параметры зависят от реальных рабочих условий.

При использовании техники модальной идентификации только по выходным данным вместо традиционной модальной идентификации, основная идея состоит в том же. Тем не менее, вместо искусственного возбуждения структуры и работать с силовым сигналом как с входящим шумовым сигналом, в качестве входного сигнала используется природное возбуждение. Основные достоинства такого тестирования следующие:

- Сокращается время установки теста, поскольку сложное оборудование для возбуждения структуры не требуется.
- Тестирование не прерывает и не вмешивается в нормальную работу структуры.
- Измеряемая реакция представляет реальные рабочие условия структуры

В принципе, отбрасывание информации о входном сигнале прибавит некоторую неуверенность в модальных оценках. Тем не менее, использование прогрессивных алгоритмов добавленная неуверенность очень мала. На практике, единственным основным различием между модальными параметрами, полученными при традиционном модальном тестировании и полученными при оперативном модальном анализе является то, что оперативный модальный анализ выдает некалиброванные формы колебаний. Калиброванные формы колебаний требуются при приложении симуляции (например, принудительная реакция или структурные модификации) к модальным данным.

# Примеры решений для модального тестирования

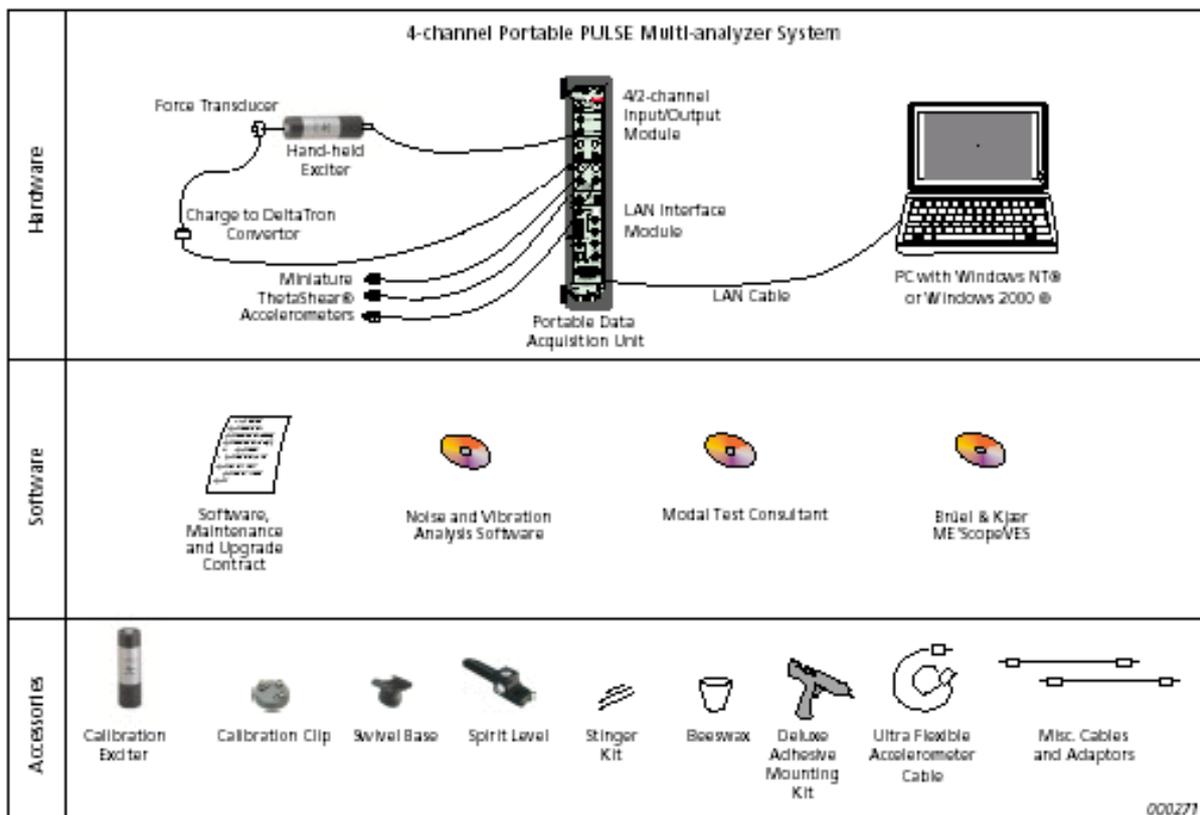
## Поиск неисправностей модальным тестированием и тестирование в полевых условиях

Для поиска неисправностей и тестирования в полевых условиях важно иметь небольшую, но точную и мощную аналитическую систему, которую легко транспортировать и паковать. Bruel & Kjaer разработали портативную версию системы PULSE® на 2-7 каналов. Это дает вам модульные и калибруемые возможности, с сокращенным временем замеров и документирования, с компактным и удобным дизайном. В сочетании с акселерометрами и аксессуарами от альянса Bruel & Kjaer/Endevco получилась внушительная, портативная система для модального тестирования.

### Характеристики

- Портативный, основанный на ПК мульти-анализатор, использующий Windows® 2000/NT®.
- FFT, CPB и общего уровня анализаторы, способные работать параллельно на нескольких каналах одновременно.
- Четыре DeltaTron/ISOTRO кондиционированных входных канала и два генераторных выхода для работы модальных или вибрационных преобразователей.
- Готовые проекты и проектные данные позволяют вам установить систему заранее.
- Спектры, кросс-спектры и функции можно видеть на месте, а также оценки модальных параметров, используя различные курсоры PULSE®
- Вывод данных в UFF, SDF и BUNV форматах.
- IEEE P1451.4 TEDS (Transducer Electronic Data Sheet) совместимость.
- Может поставляться с программным обеспечением PULSE, Modal Test Consultant, ME'scopeVES, Operational Modal Analysis.
- Большой выбор подготовленных ударных молотков.

Рис. 16. Образец 4-канальной, портативной, PULSE®, мульти-анализирующей системы.



## Модальное тестирование от средних до крупных структур

Более быстрые результаты тестов и возможность тестировать более крупные структуры часто требуют большего количества каналов и специальных модальных возбудителей с аксессуарами. Мульти-анализирующая платформа PULSE позволяет вам измерять и анализировать до 48 каналов. Уникальные модальные возбудители, широкая палитра силовых преобразователей, головки сопротивления и вибрационные преобразователи, а также лидирующие в промышленности инструменты для последующей обработки обеспечивают высокую точность тестов, прецизионность и надежность.

### Характеристики

- Мульти-анализирующая платформа PULSE, работающая с ОС Windows® 2000/NT®/
- FFT, CPB и общего уровня анализаторы, способные работать параллельно на нескольких каналах одновременно/
- Полный спектр ударных молотков, вибрационных возбудителей, силовых усилителей и аксессуаров.
- Ряд систем для кондиционирования и сбора данных.
- С PULSE поставляется ПО Modal Test Consultant® ME'scopeVES, Operational Modal Analysis®/
- Может поставляться с микроминиатюрным (0.2 г) акселерометром ISOTRON, который можно установить почти в любом месте.

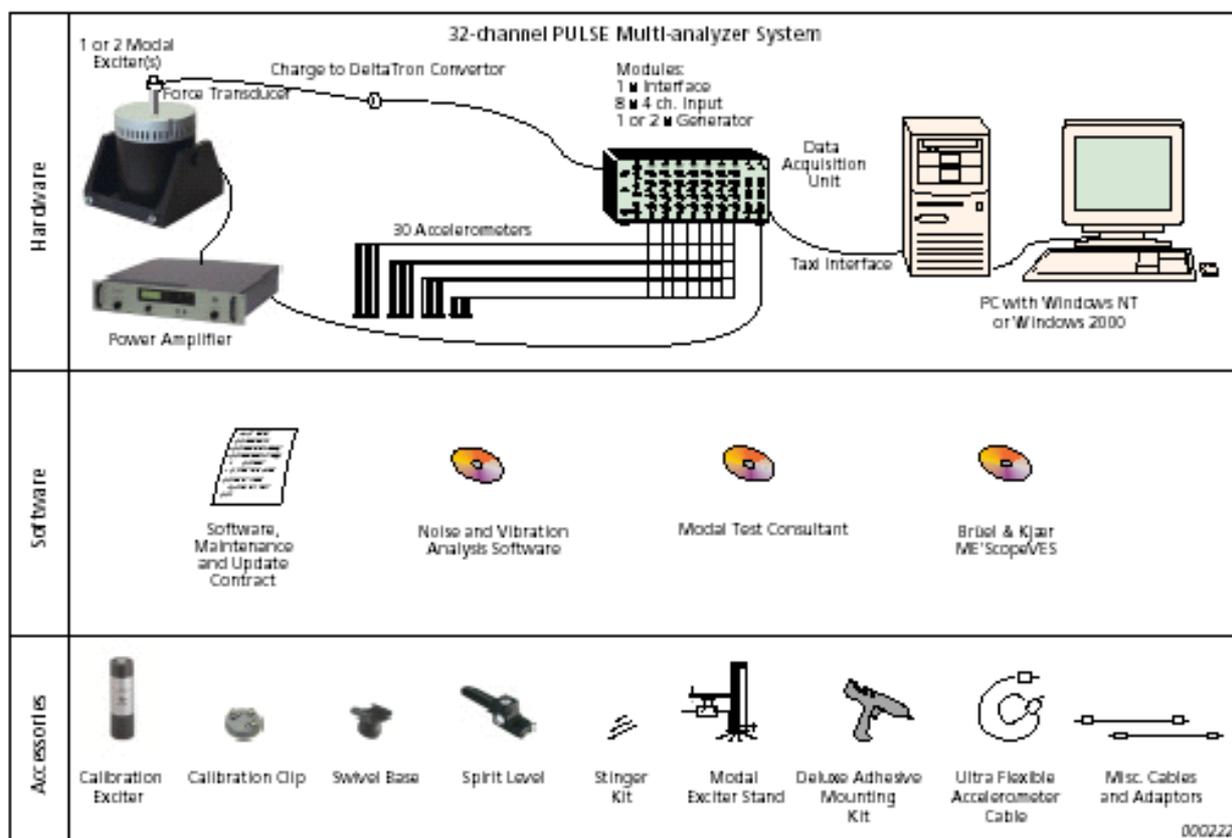


Рис. 17. Образец 48-канальной платформы PULSE®, системы для мульти-анализа.

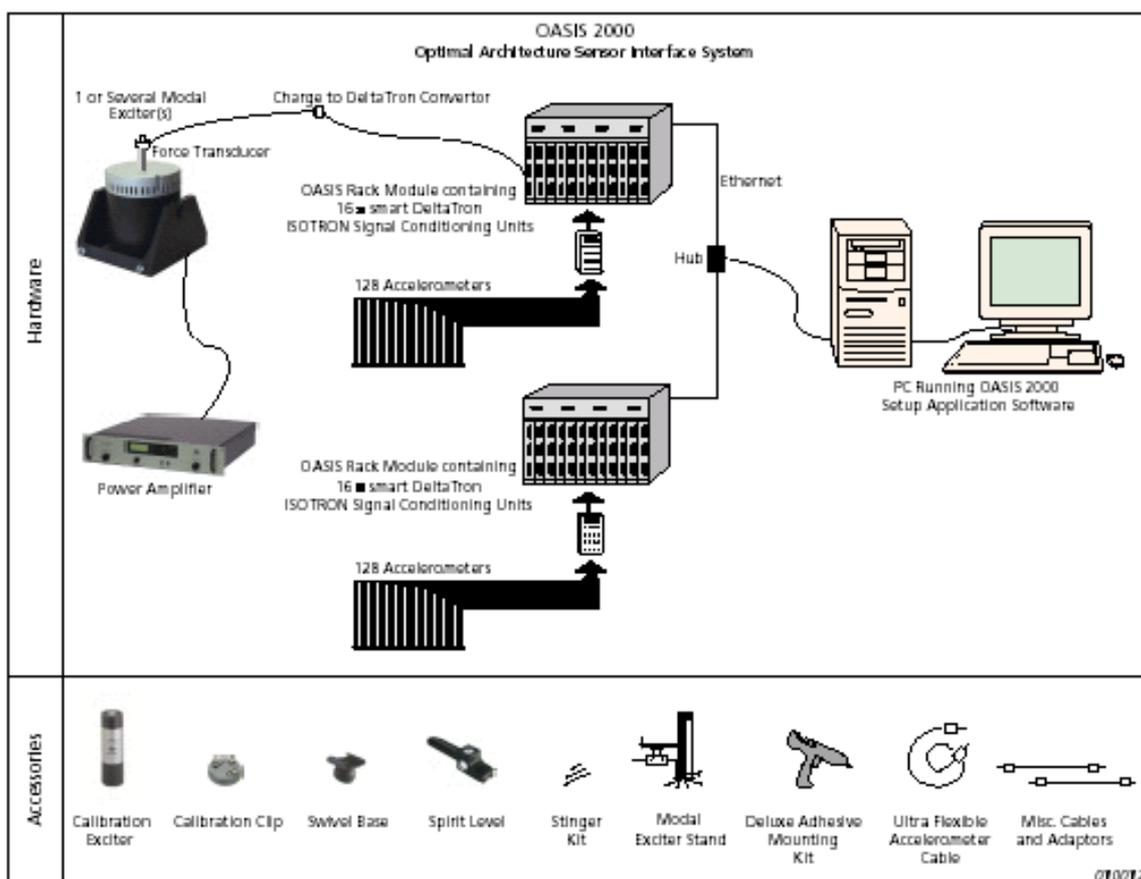
## Преобразователи и согласование сигналов для очень крупных и динамически сложных структур

Для модального тестирования очень крупных и сложных структур, где требуются сотни каналов, можно использовать OASIS 2000 - система Оптимальной архитектуры сенсорного интерфейса. Оснащенная соответствующим модулем, высокоплотная система OASIS 2000 обеспечивает согласование сигналов для каждой преобразовательной технологии альянса Bruel & Kjaer/Endevco. Сбор данных и анализ не обеспечиваются альянсом Bruel & Kjaer/Endevco.

### Характеристики

- OASIS блок сенсорного интерфейса.
- Коммутационные панели преобразователя.
- Читающие и пишущие TEDS, преобразователи с расширенной логикой и системы.
- Технология геометрической оцифровки.
- Кабельные/терминальные решения.
- Широкий спектр специальных модальных возбудителей и аксессуаров.
- Ручной TEDS программатор позволяет на месте записывать данные мест измерений.

Рис. 18. Образец 256-канальной системы согласования сигналов с OASIS 2000



## **Brüel & Kjær and ENDEVCO - Партнеры и поставщики высоких стандартов**

Рынок измерения акустики и вибрации является очень специализированной промышленной нишей. Он требует глубокого понимания природы звука и вибрации в сочетании с очень хорошим пониманием нужд и требований клиента. Проработав на этом рынке более 55 лет, компания Brüel & Kjær имеет более 900 служащих, офисы в 55 странах и 7 аккредитованных калибровочных центров по всему миру. Brüel & Kjær имеет широкий выбор продуктов, превышающий 450 наименований, включая преобразователи, полный спектр ручных измерителей уровня звука, анализаторы, системы, сервисную продукцию и специализированные решения. Продукты и решения продаются широкому диапазону индустрий, включая автомобильных субподрядчиков, авиационную, потребительскую, вращающееся оборудование, телекоммуникации и национальные государственные агентства.

Основанная в 1947 году, компания ENDEVCO является ведущим мировым поставщиком динамического инструментария для измерения вибрации, ударных воздействий, инерционного движения и динамического давления. Постоянно находясь на гребне технологии и качества, компания проектирует и производит собственные материалы, включая пьезоэлектрические кристаллы, электронику и кабели. ENDEVCO также имеет собственную исследовательскую MEMS лабораторию и кремниевую мастерскую в Саннивайл (Sunnyvale) в Калифорнии. Обе компании - ENDEVCO и Brüel & Kjær имеют сертификаты ISO 9001 - международный показатель признания качества. Кроме того, ENDEVCO имеет сертификат агентства авиации AS9000 (Aerospace Basic Quality Standard) и Boeing D1-9000 (собственное дополнение от Boeing к ISO 9002).

Вместе мы создаем поразительную команду.

### **Куда мне идти дальше?**

Мы предлагаем обширный ассортимент литературы, включая информацию о продукции, бюллетени, заявления, справочники, тренировочные курсы и брошюры для тех, кто интересуется нашими продуктами и услугами.

Мы также предлагаем компакт-диск **Master Catalogue CD-ROM** с его коллекцией информации о продукции, журнал **Brüel & Kjær Magazine** или руководство **Transducers & Conditioning Selection Guide CD-ROM**. Альтернативно, посетите наш вебсайт [www.bksv.com](http://www.bksv.com) или [www.endevco.com](http://www.endevco.com), где вы можете использовать или скачать большинство нашей литературы.

Мы приглашаем вас встретиться с нами на многих основных выставках и конференциях по звуку и вибрации, или на одном из наших тренировочных курсов, проводимых на местах или на наших собственных предприятиях. Наш вебсайт будет держать вас в курсе последних событий.

Помните, мы так близко, насколько к вам близок торговый представитель Brüel & Kjær и ENDEVCO, Интернет, телефон, факс или e-mail.

**Штаб-квартира: DK-2850 Нэрум \* Дания \* Телефон: +45 45 80 05 00 \***  
**Факс: +45 45 80 14 05 \* <http://www.bk.dk> \* Электронная почта: [info@bk.dk](mailto:info@bk.dk)**

**Московский Технический Центр компании Брюль и Къер**

**127287, Москва, Петровско-Разумовский пр., 29**

**Тел. (095) 212-39-03, Факс (095) 733-90-48**

**Е-mail: [info@asmtm.dol.ru](mailto:info@asmtm.dol.ru), WWW: [www.asmtm.ru](http://www.asmtm.ru)**

**Торговые марки**

**PULSE** – торговая марка фирмы Брюль и Къер Отделение виброакустических измерений A/S.

**MS** и **Microsoft** – зарегистрированные торговые марки корпорации Microsoft.

**Авторское право ЖИ 1998 фирма Брюль и Къер Отделение виброакустических измерений A/S**

Все права сохранены. Никакая часть настоящей публикации не может быть воспроизведена или распространена в любой форме или любыми

средствами без предварительного разрешения фирмы Брюль и Къер Отделение виброакустических измерений A/S, Нэрум, Дания.