ИНФОРМАЦИЯ О ПРОДУКЦИИ

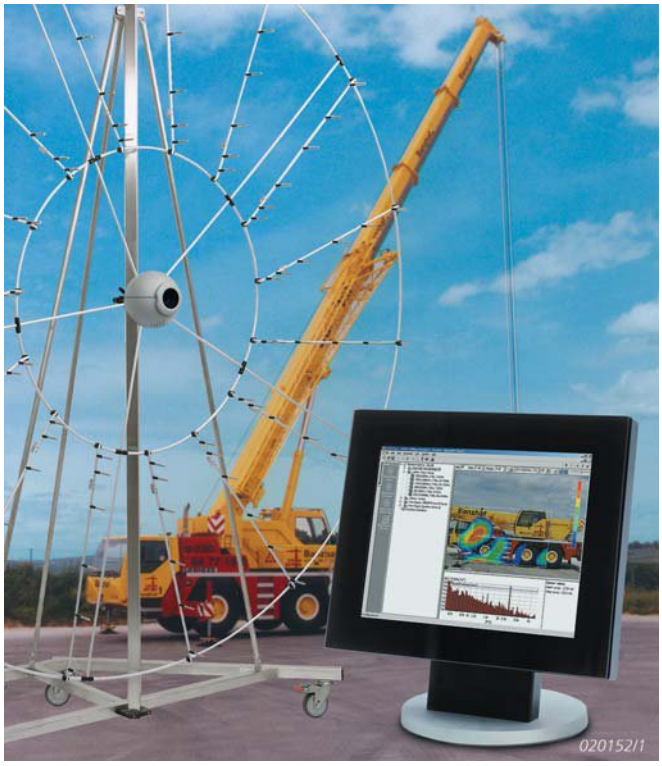
Решения на базе платформы PULSE для идентификации источника шума при помощи решетки: формирование диаграммы направленности, тип 8608, акустическая голография, тип 8607, сферическая диаграмма направленности, тип 8606

Идентификация источника шума (NSI – от англ. Noise Source Identification) – это важный метод оптимизации излучаемого различными продуктами шума, начиная с автомобилей, бытовых приборов, мощных инструментов и заканчивая элементами тяжелого промышленного оборудования, такого как двигатели, шины, коробки передач, системы выпуска отработавших газов и т. д.

Преимуществом методом NSI является возможность идентификации (что наиболее важно) вторичных источников шума на объекте, позволяя определить их положение, частотные составляющие и излучаемую звуковую мощность. Ранжирование вторичных источников можно использовать для определения изменений в конструкции объекта, которые наиболее эффективно сказываются на общем уровне излучаемого шума.

Методы работы с акустическими решетками обеспечивают самый быстрый измерительный процесс и самое высокое качество результатов. Сочетание акустической голографии с фазированными решетками позволяет построить точную карту с высоким разрешением во всем диапазоне слышимых частот.

Методы работы во временной области могут использоваться для изучения переходных процессов, таких как соударения и всплески, а также для получения более подробной информации о стационарных источниках, например, об уровне излучаемого шума в зависимости от угла поворота коленчатого вала двигателя. Для больших и неподвижных источников шума применяются автоматические системы позиционирования микрофонов (роботы), которые позволяют сделать измерение автоматическим.



Аппаратное и программное обеспечение

Программное обеспечение:

- программа Spherical Beamforming (Сферическая диаграмма направленности), тип 8606, обеспечивает получение сферической (360 градусов) карты звукового поля без каких-либо допущений;
- программа Acoustic Holography (Акустическая голография), тип 8607, представляет собой метод математического описания звукового поля, основанный на ряде измерений;
- программа Beamforming (Формирование диаграммы направленности), тип 8608, является методом построения карты источников шума, на которой показан уровень звука в зависимости от направления;
- все упомянутые приложения позволяют выполнять постобработку данных;
- для всех приложений доступны дополнительные опции: Conformal (Конформный анализ); Transient (Переходные процессы); Quasi-stationary Calculations (Квазистационарные вычисления) и Sound Quality Metrics (Метрика качества звука);
- алгоритм Refined Beamforming Calculations (Улучшенный алгоритм вычисления диаграммы направленности) для увеличения пространственного разрешения функции формирования диаграммы направленности;
- алгоритм Road Vehicle (Автомобильный транспорт) и Rail Vehicle (Железнодорожный транспорт) для функции формирования диаграммы направленности;
- запатентованный метод Panel Contribution (Вклад панели), Intensity Component Analysis (Анализ интенсивности компонента) и In Situ Absorption (Поглощение на месте установки) для функции акустической голографии

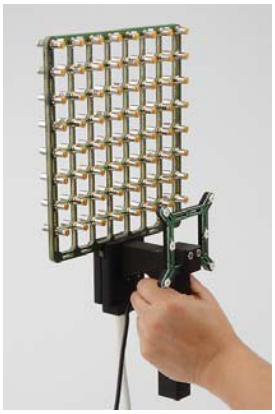
Решетки:

- периодические решетки для сканирования и измерений общего характера; запатентованные решетки, выполненные в виде колеса со спицами и имеющие числовую оптимизацию акустических параметров относительно формирования диаграммы направленности; решетки в виде сегментированного колеса с числовой оптимизацией акустических параметров относительно формирования диаграммы направленности и акустической голографии;
- портативные решетки для построения голографической карты в реальном времени, сегментной голографии и конформной карты при помощи запатентованной технологии акустической голографии, статистически оптимизированной в ближнем поле (SONAH – от англ. Statistically Optimized Near-field Acoustical Holography), и сферические решетки, построенные по методу эквивалентного источника (ESM – от англ. Equivalent Source Method), предназначенные для формирования диаграммы направленности даже в ограниченных условиях;
- система с единственным сигнальным кабелем, позволяющим подключать до 132 каналов через один разъем.

Brüel & Kjær

Выбор решеток и роботов

Таблица 1 *Выбор решеток и роботов компании Brüel & Kjær для неподвижных, проходных и сканирующих измерений*

Сферическая решетка **Области применения:** внутренняя отделка автомобилей и самолетов, зданий и промышленных цехов **Метод NSI:** сферическая диаграмма направленности **Кол-во каналов:** 36 или 50 **Размер:** диаметр 20 см **Макс. частота:** 12 кГц **Оснастка:** штатив WQ-2691	**Решетка в виде колеса (с камерой)** **Области применения:** измерения общего характера (90-канальная решетка используется, как правило, в области испытаний автомобильных компонентов) **Метод NSI:** формирование диаграммы направленности **Кол-во каналов:** более 42 **Размер:** диаметр от 0,65 до 4,0 м **Макс. частота:** 20 кГц **Оснастка:** штатив WQ-2691	**Решетка в виде половины колеса** **Области применения:** перемещающийся автомобильный и железнодорожный транспорт, включая испытания в аэродинамической трубке и испытания при проезде **Метод NSI: ф**ормирование диаграммы направленности **Кол-во каналов:** не менее 42 **Размер:** диаметр от 1,5 до 4,0 м **Макс. частота:** 10 кГц **Оснастка:** тележка WA-0893	**Периодическая решетка** **Области применения:** измерения общего характера, неподвижные источники шума **Метод NSI:** акустическая голография и вычисление переходных процессов **Кол-во каналов:** не менее 6 **Размер:** 0,125 x 0,125 м и более (доступна различная величина шага) **Макс. частота:** 6 кГц **Оснастка:** опора WA-0810 или система позиционирования решетки
Решетка в виде сегментированного колеса **Области применения:** измерения общего характера, двигатели, автомобильные детали / внутренняя отделка и т. д. **Метод NSI:** формирование диаграммы направленности и акустическая голография **Кол-во каналов:** 18, 36, 60 или 84 **Размер:** диаметр от 0,35 до 2,0 м **Макс. частота:** формирование диаграммы направленности, 36 каналов: 6,0 кГц; 60-каналов: 8,0 кГц. Акустическая голография, 36-каналов: 1,5 кГц; 60-каналов: 1,2 кГц **Оснастка:** штатив WQ-2691	**Портативная решетка (однослойная или двухслойная)**  **Области применения:** детали, внутренняя отделка и т. д. **Метод NSI:** голография в реальном времени, сегментная карта и конформные вычисления **Кол-во каналов:** мин. 6 × 6 × 1, макс. 8 × 8 × 2 **Шаг:** 25, 30, 35, 40 и 50 мм (размер зависит от количества каналов и шага) **Макс. частота:** 6 кГц **Оснастка:** оптическая система позиционирования датчика 3D Creator, WU-0695-W-001	**2D-робот** **Области применения:** от больших, стационарных источников шума, таких как автомобили и двигатели, до слуховых аппаратов и стоматологических сверл **Метод NSI:** акустическая голография **Кол-во каналов:** от 2 до 96 Размер: от 1 × 1 м до 10 × 3 м **Макс. частота:** 12 кГц **Оснастка:** решетка со встроенным подключением WA-0806, решетка с гибким подключением WA-0807 и контроллер робота WB-1477	**Пятиугольная решетка** **Области применения:** источники шума вне помещений, ветровые турбины, предприятия **Метод NSI:** формирование диаграммы направленности, подавление внешнего шума **Кол-во каналов:** 30 **Размер:** Диаметр 3,5 м **Макс. частота:** 5 кГц **Мин. частота:** 100 Гц **Оснастка:** штатив WQ-2691

Чтобы уменьшить общий уровень шума, необходимо локализовать, описать количественно и дать оценку отдельным источникам шума оборудования. Процедура начинается с определения "горячих" точек, т. е. областей, исходящий из которых шум значительно превышает шум окружающей области. Зная эти горячие точки, можно найти их доминирующие частоты и относительный вклад в звуковую мощность, что позволяет определить их вклад в общий уровень шума.

Как правило, для этого строится карта интенсивности звука, которая состоит непосредственно из нескольких расположенных на поверхности точек и измеряется при помощи датчика интенсивности. Методы работы с акустическими решетками значительно упрощают этот процесс, так как позволяют измерять одновременно большое количество точек, что значительно ускоряет измерение. Компания Brüel & Kjær предоставляет широкий выбор решеток, охватывающих подавляющее большинство практических случаев. Типы измерения могут быть следующими:

- неподвижное (Fixed): настроенная решетка в процессе измерения не перемещается. Это может быть, например, пятиугольная решетка, предназначенная для измерения ветряных турбин;
- измерение на проходе (Patch): решетка перемещается из одного положения в другое либо вручную, либо при помощи робота. Это может быть, например, портативная решетка для построения конформной карты панели приборов автомобиля;
- сканирование (Scanned): один микрофон, ряд микрофонов или полноценная решетка микрофонов сканирует поверхность при помощи робота. Такая решетка может использоваться, например, для измерения стационарных источников шума, таких как трансформаторы или стоматологические сверла.

Постобработка акустической решетки для оптимизации полученных измеренных данных

Вычисление, отображение и создание отчетов об измерении выполняется программным пакетом Array Acoustics (Акустические решетки), в состав которого входят функции постобработки. Тремя основными приложениями этого пакета являются: Beamforming (Формирование диаграммы направленности), Spherical Beamforming (Сферическая диаграмма направленности) и Near-field Acoustical Holography (NAH) (Акустическая голография в ближнем поле). Область применения программного пакета может быть расширена путем добавления одной или нескольких основных функций, например, для вычисления переходного процесса, квазистационарной и конформной метрики или метрики качества звука. Ряд дополнительных опций специально предназначен для работы с определенными приложениями, например, опция Moving Source (Подвижный источник) предназначена для приложения Beamforming (Формирование диаграммы направленности), опция Panel Contribution (Вклад панели) – для приложения NAH (Акустическая голография в ближнем поле).

Кроме того, чтобы оптимизировать процесс, для самих вычислений пользователь может выбрать различные алгоритмы, например, статистически оптимизированную акустическую голографию в ближнем поле (SONAH) и метод эквивалентного источника (ESM) для NAH, а также метод неотрицательных наименьших квадратов (NNLS – от англ. non-negative least squares) для улучшенного формирования диаграммы направленности (Refined Beamforming).

Методы акустической голографии, такие как SONAH и ESM не могут работать с решетками, расстояние между датчиками которых меньше половины длины волны. Для выбранной решетки это ограничение определяет верхнюю границу частотного диапазона. Чтобы расширить частотный диапазон, вместе с нерегулярными решетками Combo Array (Комбинированная решетка) на низких частотах применяется метод SONAH, а на частотах выше упомянутой границы – функция формирования диаграммы направленности. Основным недостатком такого подхода является необходимость применения двух методов, охватывающих весь частотный диапазон: низкочастотные измерения с небольшим расстоянием по методу SONAH и высокочастотные измерения на большем расстоянии по методу формирования диаграммы направленности. Запатентованный метод широкополосной голографии (Wideband Holography) позволяет объединить частотный диапазон метода SONAH и формирования диаграммы направленности в одном измерении, выполненном с промежуточного расстояния (см. рис. 1).

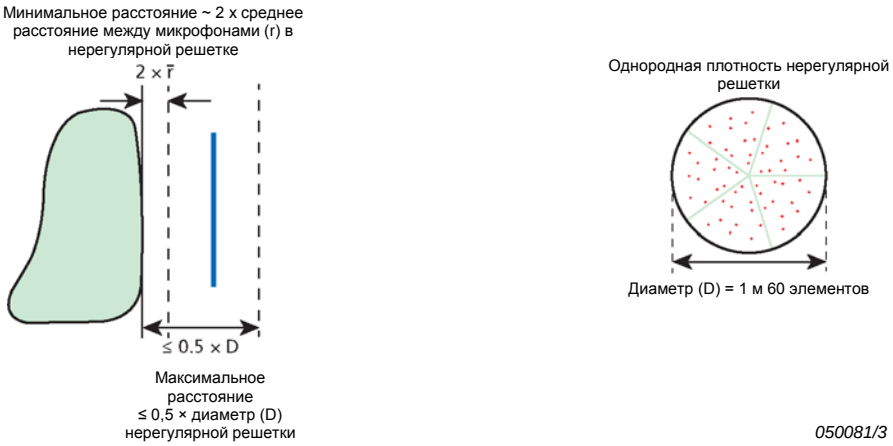


Рис. 1
Запатентованный метод широкополосной голографии (Wideband Holography) позволяющий объединить частотный диапазон метода SONAH и формирования диаграммы направленности в одном измерении, выполненном с промежуточного расстояния

Метод NAH строит математическую модель, описывающую звуковое поле по нескольким измерениям уровня звукового давления, взятым в плоскости, расположенной в непосредственной близости к источнику. Эта модель позволяет описать параметры звукового поля, уровень звукового давления, интенсивность звука, акустическую скорость частиц и т. п. в плоскости, параллельной плоскости измерения.

При помощи интегрального уравнения Гельмгольца эта модель может использоваться также для вычисления отклика в дальнем поле и оценки звукового давления вдоль прямой в дальнем поле. Чтобы оценить возможное воздействие различных источников могут применяться также схемы потенциального снижения шума. Всего доступно два алгоритма: SONAH (Акустическая голография, статистически оптимизированная в ближнем поле) и ESM (Метод эквивалентного источника).

Вычислительный алгоритм SONAH позволяет исключить ограничения, свойственные традиционным методам вычисления акустической голографии в ближнем поле (NAH), а именно:

- область измерения должна охватывать весь источник шума, а также некоторую дополнительную площадь, чтобы избежать эффекта трехмерного окна;
- измерительная решетка должна иметь регулярную периодическую структуру с ячейками прямоугольной формы, чтобы можно было вычислить пространственное БПФ.

Алгоритм SONAH может работать с решетками нерегулярной структуры, а также допускает использование решеток, размер которых меньше источника звука, без эффектов пространственного окна.

Метод вычисления ESM предназначен для сильно искривленных поверхностей. Он позволяет избежать появления ложных показаний, свойственных методу SONAH при работе с неплоскими поверхностями. В связи с этим метод ESM применяется в акустической голографии при использовании конформных вычислений в функции Panel Contribution (Вклад панели), Intensity Component Analysis (Анализ интенсивности компонентов) и In Situ Absorption (Поглощение на месте установки).

Измерение и анализ

Стационарное измерение акустической голографии в ближнем поле (NAH) выполняется, как правило, с использованием решетки ограниченных размеров, которая сканирует поверхность при помощи роботизированной системы позиционирования. Чтобы поддержать согласование фаз между различными положениями при сканировании в процессе работы измеряется также и опорный сигнал. Измерения переходных процессов выполняется, как правило, при помощи больших неподвижных решеток, так как все измерительные точки должны обрабатываться одновременно.

Выполнение

- Разрешающая способность: определяется как наименьшее расстояние, способное разделить два источника звука. Разрешающая способность приближенно определяется следующим образом:
  $R = \min(L, \lambda/2)$,
  где L – расстояние от решетки до источника, а λ – длина волны.
- Частотный диапазон: определяется следующим образом:
  $f_{max} = c/2dx$ и $f_{min} = c/8D$,
  где c – скорость звука, dx – среднее расстояние между точками измерения, а D – диаметр решетки.

Следовательно, применение акустической голографии в ближнем поле (NAH) ограничено по частоте за счет расстояния между точками измерения. Как правило, метод NAH может использоваться в диапазоне от 50 до 3000 Гц.

Особенности и преимущества:

- простота, высокое разрешение карты на низких и средних частотах;
- очень низкая величина f_{min} для метода SONAH или ESM;
- полностью автоматический сбор данных, включая управление роботом при помощи ПО PULSE™ Acoustic Test Consultant, тип 7761.

Типовые области применения:

- анализ вклада источника;
- двигатели и силовые передачи;
- детали;
- утечки через герметичные двери;
- офисное оборудование;
- бытовые приборы;
- тяжелое машиностроение.

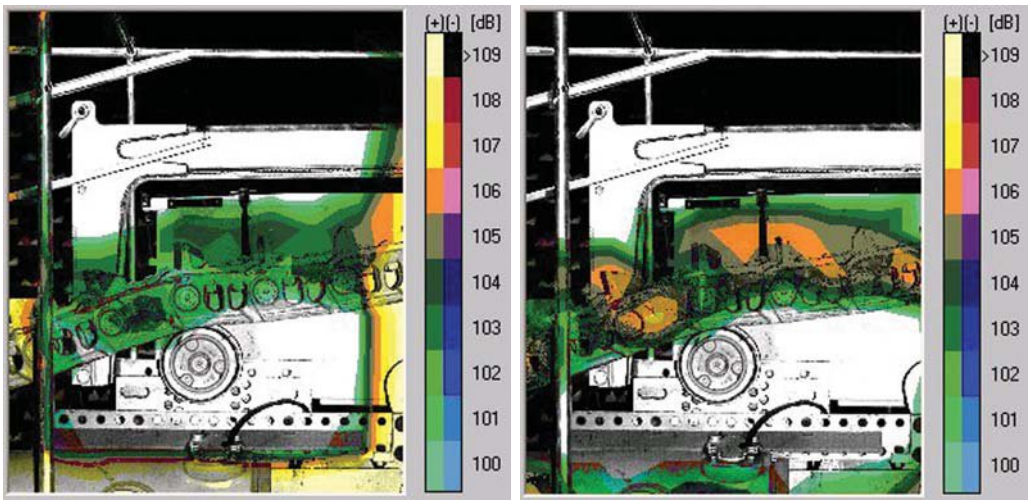


Рис. 2
Карта усредненной акустической скорости частиц для 1/12-октавных диапазонов от 205 до 1454 Гц, А-взвешивание.
Слева: *NAH*
Справа: *SONAH. Заметим, что метод SONAH снижает граничные эффекты*

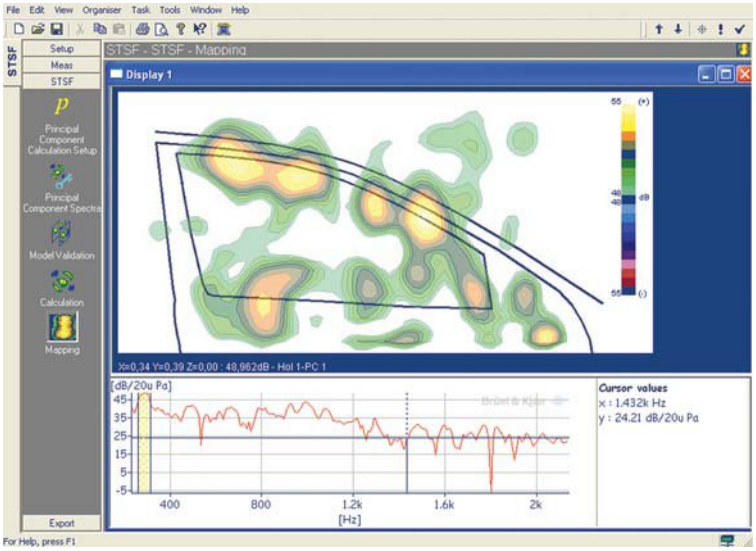


Рис. 3
Карта утечек герметичной двери. Вычисления в процессе построения акустической голографии обеспечивают высокое разрешение карты путем получения результатов в плоскости, расположенной близко к поверхности источника.

Планарная диаграмма направленности

Формирование диаграммы направленности (Beamforming) – это метод построения карты источников шума, на которой показан уровень звука в зависимости от направления. Этот метод обладает высокой скоростью, что позволяет построить полную карту за одно единственное измерение. Он также работает на высоких частотах. Инновационные решетки компании Brüel & Kjærю, выполненные в форме колеса, могут использоваться с программой PULSE Beamforming для обеспечения оптимальных акустических результатов при сохранения простоты в эксплуатации и обращении.

По сравнению с другими методами обнаружения источников звука метод формирования диаграммы направленности, благодаря своей высокой скорости работы, позволяет измерять все каналы одновременно. Это оптимизирует работу с такими дорогостоящими средствами измерения, как безэховая камера и аэродинамическая труба, а также оставляет далеко позади рутинные и требующие многократного повторения традиционные методы.

В тех случаях, когда объект испытания можно считать состоящим из некогерентных источников, применяется улучшенный алгоритм формирования диаграммы направленности, основанный на операции обратной свертки. Этот алгоритм позволяет увеличить пространственное разрешение карты шума как минимум в три и более раз.

Измерение и анализ

Звуковое поле, излучаемое с поверхности объекта испытания, измеряется несколькими микрофонами, расположенными на одном расстоянии от объекта. Микрофоны формируют собой плоскую решетку, направленную в центр объекта.

Путем ввода определенной задержки в сигнал каждого микрофона и сложения результатов можно создать акустическую антенну, эквивалентную параболическому отражателю, главный лепесток диаграммы направленности которой позволяет регулировать чувствительность только для определенного угла падения звука. Повторяя процесс вычисления для одного и того же набора измеренных данных при большом количестве углов, можно получить полную карту относительного звукового давления для выбранной точки наблюдения. При помощи формирования диаграммы направленности можно вычислять результаты для углов до 30° от центральной оси, поэтому для получения карты больших объектов достаточно небольших решеток. Например, можно построить карту всего автомобиля, выполняя измерение лишь при одном положении решетки.

Конструкция решетки

Динамический диапазон карты (известный также как максимальный уровень бокового лепестка (MSL – от англ. maximum side lobe)) лежит, как правило, в диапазоне от 0 до 15 дБ в зависимости от конструкции решетки. Как правило, конструкция нерегулярных решеток значительно отличается от конструкции традиционных решеток. Однако нерегулярные решетки с одним и тем же количеством микрофонов могут иметь различные характеристики в зависимости от того, как расположены в ней микрофоны. Для создания решеток компания Brüel & Kjær применяет запатентованный числовой метод оптимизации, обеспечивающий оптимальные характеристики в заданном частотном диапазоне и для заданного количества микрофонов.

Специальные сегментные решетки круглой формы предназначены для оптимизации как алгоритма формирования диаграммы направленности, так и акустической голографии. Эти решетки могут работать при сочетании методов, обеспечивая получение карты для всего диапазона слышимых частот.

Выполнение

- **Разрешающая способность:** определяется как наименьшее расстояние, способное разделить два источника звука. Приближенно разрешающая способность вычисляется следующим образом:
  $R = L/D*\lambda$,
  где: L – расстояние от решетки до источника, D – размер решетки, а λ – длина волны.

Применение метода формирования диаграммы направленности ограничено на низких частотах за счет конечной разрешающей способности. Как правило, этот метод может использоваться в диапазоне от 500 Гц до 20 кГц.

Для больших источников звука, расположенных вне помещения, таких как ветровые турбины и цеха, рекомендуется использовать пятиугольные решетки. Эти решетки в форме раструба позволяют подавлять внешний шум, поступающий с задней части решетки, на величину до 10 дБ в зависимости от частоты.

Для автомобильного и железнодорожного транспорта, самолетов и ветровых турбин, а также для перемещающихся источников звука разработана специальная функция формирования диаграммы направленности.

Особенности и преимущества:

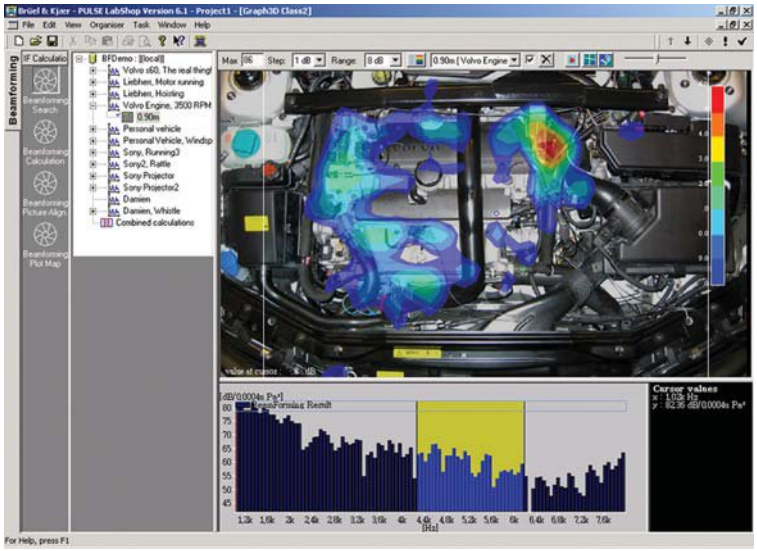
- быстрое получение измерения;
- идеальная работа на средних и высоких частотах;
- охват крупных объектов;
- возможность работы (в сочетании с методом SONAH) во всем слышимом диапазоне частот.

Типовые области применения:

- анализ вклада источника;
- машинное оборудование;
- строительное оборудование;
- аэродинамические трубы;
- двигатели и силовые передачи;
- детали;
- герметичные детали;
- внутренняя отделка автомобилей.

Пример области применения

Рис. 4
Результат, полученный методом формирования диаграммы направленности для двигателя автомобиля



Конформные карты

Полностью конформные карты могут быть созданы при помощи набора проходных измерений с известными положениями и с известной геометрией объекта. Геометрия объекта может быть либо импортирована из ряда стандартных форматов, либо обнаружена при помощи системы определения положения, встроенной в рукоятку портативной решетки.

Геометрия объекта

Если заменить микрофонную решетку на датчик-указатель, система позиционирования, встроенная в рукоятку портативной решетки, зарегистрирует 3D-координаты наиболее значительных точек геометрии. Чтобы подстроить геометрию объекта под требуемую разрешающую способность, можно использовать инструменты работы с сеткой (Meshing tool). Кроме того, геометрия объекта может быть импортирована из существующих CAD- или CAE-моделей. В этом случае, как правило, требуется загрубление модели с целью минимизации количества элементов и, следовательно, точек измерения. Поверхность CAD-модели может быть импортирована через файловый формат IGES (расширение файла ".igs"), модели с сеткой поверхности – через универсальный файловый формат 2411 и 2412 (расширение файла ".unv").

Также может быть импортирован файловый формат IGES типа 143,144 и серии 500 (также имеет название "B-Rep"). Могут быть импортированы файлы STL и UFF.

Измерение и анализ

Измерения вокруг объекта (в большинстве доступных мест) выполняются при помощи портативной решетки. Как правило, при этом одновременно измеряется от 36 до 128 точек. При помощи встроенной системы позиционирования программа следит за положением решетки в процессе измерения. Как правило, количество точек измерения должно соответствовать максимальной частоте.

Функция определения положения ПО АТС

ПО АТС поддерживает сегментный режим измерения при помощи функции определения положения (Position Detection) для программы АТС (BZ-5611) и соответствующей портативной микрофонной решетки со встроенной системой позиционирования:

- определение положения микрофонов в трех плоскостях;
- система позиционирования 3D Creator, построенная на базе инфракрасных излучателей и датчиков.

Особенности и преимущества:

- точное измерение неплоских объектов;
- высокая разрешающая способность карты даже на низких частотах;
- измерения могут быть выполнены в большинстве доступных мест;
- не требуется поддержка решеток сложной формы;
- не требуется предварительное моделирование.

Типовые области применения:

- анализ вклада источника;
- детали;
- сборочные единицы;
- герметичные детали;
- внутренняя отделка автомобилей.

Пример области применения

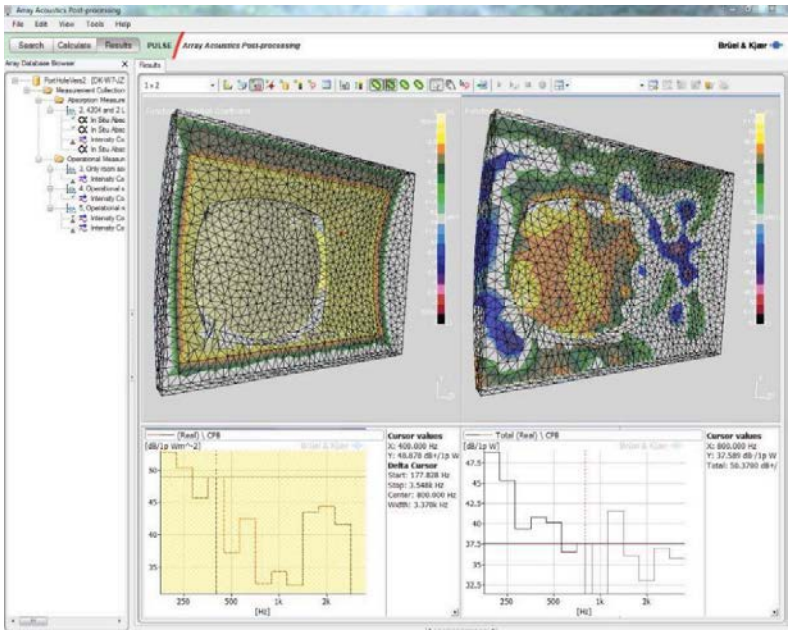


Рис. 5
Конформная карта иллюминатора самолета. ***Слева:*** *усредненное поглощение по различным областям.* ***Справа:*** *карта интенсивности.* ***График слева:*** *спектр интенсивности для определенной точки.* ***График справа:*** *спектр мощности звука для всего иллюминатора*

Сферическая диаграмма направленности

Приложение Spherical Beamforming (Сферическая диаграмма направленности) предлагает два вычислительных алгоритма: угловое представление сферических гармоник звукового давления (SHARP – от англ. Spherical Harmonics Angularly Represented Pressure) и алгоритм фильтрации и суммирования (FAS – от англ. Filter and Sum, заявка на патент). Оба алгоритма позволяют получить полную ненаправленную карту шума в любой акустической обстановке при помощи одного простого измерения. В отличие от других методов, карта которых является лишь частью окружения, для построения карты шума по методу сферической диаграммы направленности во всех направлениях используется сферическая решетка, в которой установлено 12 камер. Эти камеры автоматически получают изображения во всех направлениях. В момент вывода результатов измерения на экран эти изображения используются в качестве фона акустической карты.

Кроме того, сферическая диаграмма направленности не использует какие-либо ограничения на природу акустической обстановки, поэтому она может применяться как в свободном поле, так и при наличии реверберации. Именно поэтому сферическая диаграмма направленности используется для построения обзорных карт в ограниченных и частично заглушенных объемах, например, внутри автомобилей или в кабинах самолетов.

Измерение и вычисление

Измерение выполняется при помощи решетки микрофонов, смонтированных на поверхности твердой сферы. Расположение микрофонов на сфере оптимизировано числовым способом, что обеспечивает максимальную динамическую глубину карты. Как правило, сфера размещается в месте типового воздействия шума, например, на сидении водителя автомобиля.

Алгоритм SHARP разлагает наблюдаемое звуковое поле на сферические гармоники, а затем оценивает их вклад с учетом направления по рекомбинации сферических гармоник.

Алгоритм FAS работает с сигналом каждого отдельного микрофона, применяя к нему фильтр с конечной импульсной характеристикой (КИХ), который оптимизирован для каждого угла падения с целью минимизации боковых лепестков сферы. Полученные в результате звуковые давления суммируются и образуют собой акустическую карту.

Выполнение

Угловое разрешение алгоритма SHARP и FAS для сферической диаграммы направленности практически одинаково. Однако алгоритм FAS обладает лучшим уровнем бокового лепестка (MSL).

Таблица 2
Разрешение (на уровне минус 3 дБ) в градусах для сферы радиусом 10 см

Сферическая диаграмма направленности								
200 Гц	**500 Гц**	**1000 Гц**	**2000 Гц**	**4000 Гц**	**6000 Гц**	**8000 Гц**	**10 кГц**	**12 кГц**
105	65	48	32	24	16	13	10	8

Достоверный динамический диапазон или уровень бокового лепестка (MSL) уменьшается с ростом частоты. Алгоритм SHARP для 50-канальной решетки обеспечивает уровень бокового лепестка лучше чем 6 дБ на частоте до 8 кГц, а для 36-канальной решетки – лучше чем 6 дБ на частоте до 5 кГц. Алгоритм FAS обеспечивает значительно более лучший уровень бокового лепестка: 6 дБ на частоте до 12 кГц для 50-канальной решетки и более 7 дБ на частоте 6,4 кГц для 36-канальной решетки.

Диапазон применения метода сферической диаграммы направленности ограничен в области низких частот конечной угловой разрешающей способностью, а на высоких частотах – уровнем бокового лепестка. Таким образом, рабочий диапазон метода составляет от 250 Гц до 12000 кГц.

Для измерений внутри автомобиля сферическая диаграмма направленности применяется, главным образом, с целью получения обзорной акустической карты. Более подробная детализация, особенно на низких частотах, может быть получена при помощи портативной решетки в сочетании с конформной акустической голографией, что позволяет обеспечить более широкий диапазон частот.

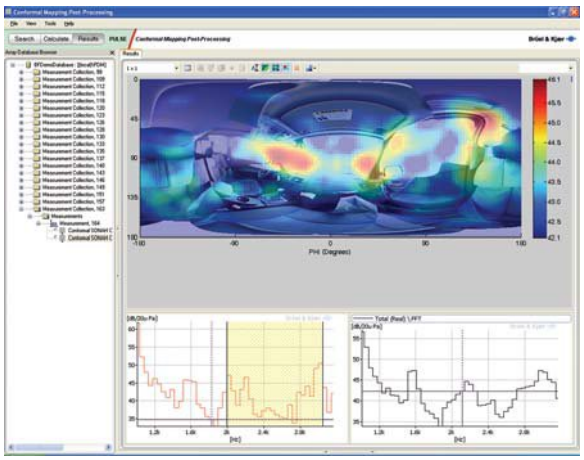
Особенности и преимущества:

- быстрое получение измерения;
- идеальная работа на средних и высоких частотах;
- сферический охват;
- независимость от акустических условий.

Типовые области применения:

- шум внутри автомобиля;
- шум внутри кабины самолета;
- помещения;
- шум промышленного предприятия.

Пример области применения



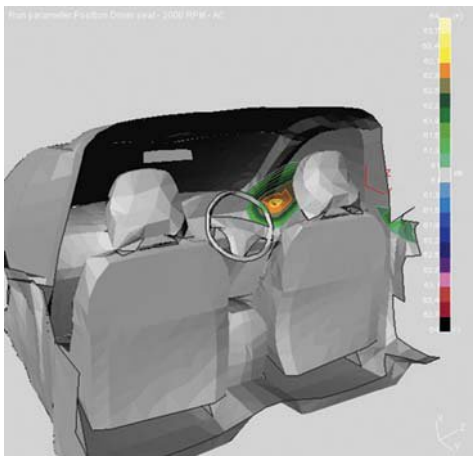
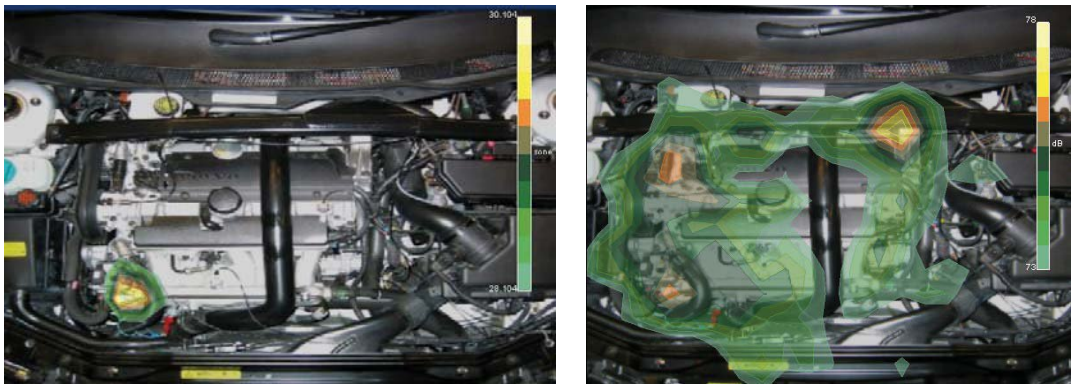


Рис. 6
Слева: *ненаправленная карта дорожного испытания, полученная при помощи сферической диаграммы направленности. Обстановка в автомобиле на скорости 80 миль в час: от 2000 до 3000 Гц.* ***Справа:*** *результаты конформной карты испытания, выполненного при помощи сферической решетки, направленной на место водителя (при включенном кондиционере). Результаты*

Для всех применений микрофонной решетки (формирование диаграммы направленности, акустическая голография, сферическая диаграмма направленности) на карту можно нанести метрику качества звука, см. пример на рис. 7.

Рис. 7
Сравнение карт громкости и уровня звукового давления, от 15,5 до 18 щелчков.
Слева: *стационарная громкость.*
Справа: *звуковое давление*



Метрика качества звука доступна в зависимости от выбранного типа обработки данных в ПО Array Acoustics Suite, см. табл. 3. Такой показатель как импульсивность метрики (Impulsiveness) был разработан в сотрудничестве с японской компанией Isuzu Motors Limited.

Таблица 3
Доступность метрики качества звука

	Тип обработки данных в ПО Array Acoustics Suite			
	Стационарный	**Квазистационарный**	**Переходной процесс**	**Метрика качества звука**
Стационарная громкость	•	•		•
Нестационарная громкость			•	
Острота	•	•		•
Статистическая громкость				•
Резкость				•
Сила флуктуаций				•
Индекс артикуляции	•	•		•
Психоакустическое раздражение				•
Уровень громкости	•	•	•	•
Комбинированная метрика				•
Импульсивность				•

Типовой состав системы для работы с акустической решеткой

Рис. 8
Типовая 18-канальная система с сегментированной решеткой в виде колеса

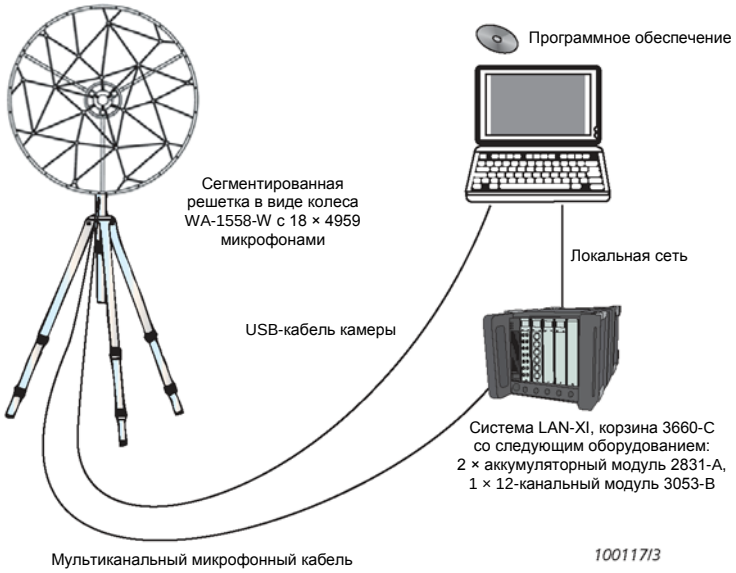
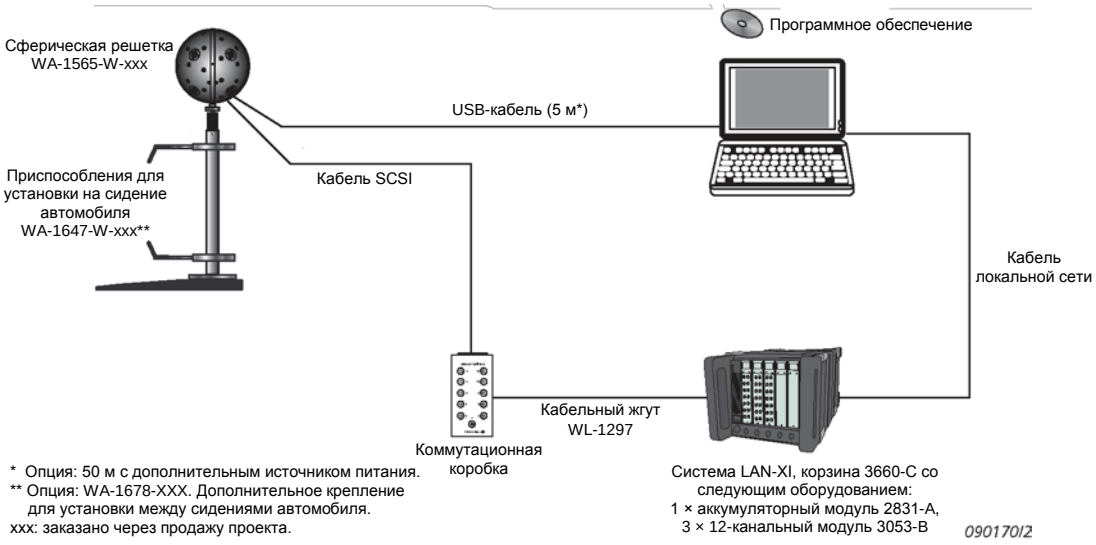


Рис. 9
Типовая 36-канальная система для сферической диаграммы направленности. Системы со сферическими решетками поставляются как выполненные на заказ решения



* Опция: 50 м с дополнительным источником питания.
** Опция: WA-1678-XXX. Дополнительное крепление для установки между сидениями автомобиля.
xxx: заказано через продажу проекта.

Рис. 10
Типовая система с пятиугольной решеткой

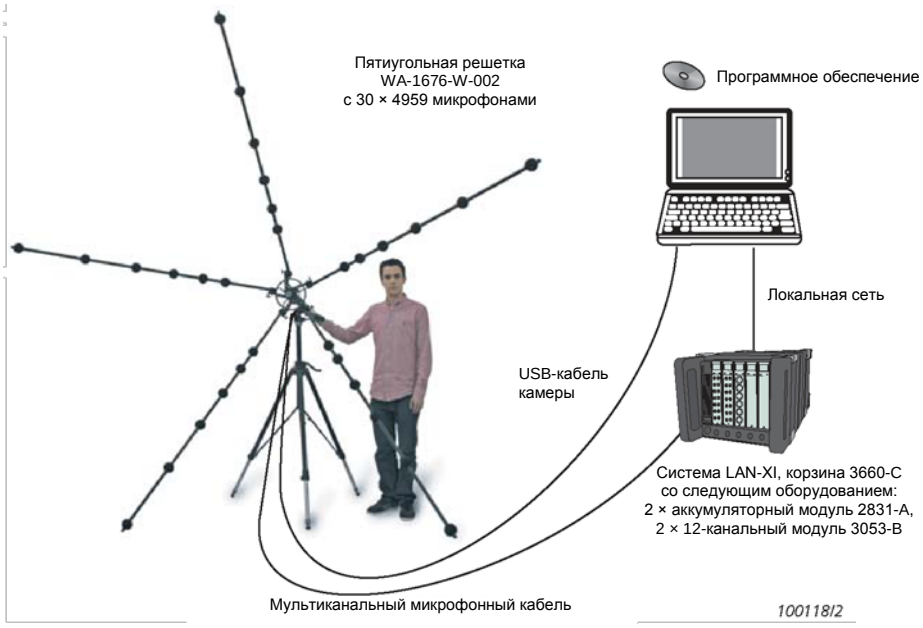
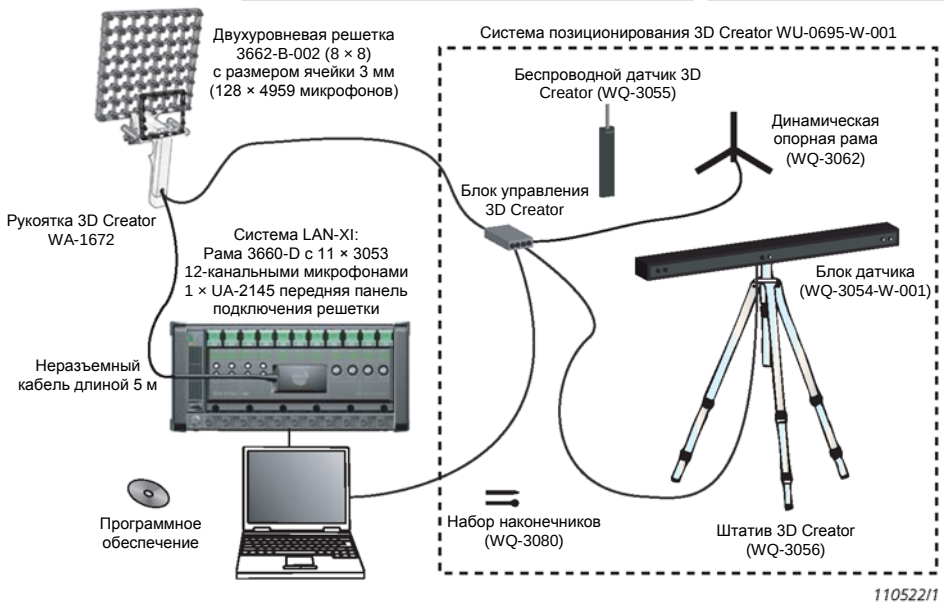


Таблица 4
Типовая 18-канальная система с сегментированной решеткой в виде колеса



Портативные решетки – частотные диапазоны

Тип портативной решетки	Уровень	Конфигурация	Шаг сетки, мм	Необходимое кол-во микр.	Длина решетки, м	Типовая мин. частота, Гц	Типовая макс. частота, Гц
Модель 3662-A-001	Один	8 × 8 × 1	25	64	0,175	245	6174
Модель 3662-A-002	Два	8 × 8 × 2	25	128	0,175	245	4979
Модель 3662-A-003	Один	6 × 6 × 1	25	36	0,125	343	6174
Модель 3662-A-004	Два	6 × 6 × 2	25	72	0,125	343	4979
Модель 3662-B-001	Один	8 × 8 × 1	30	64	0,210	204	5145
Модель 3662-B-002	Два	8 × 8 × 2	30	128	0,210	204	4979
Модель 3662-B-003	Один	6 × 6 × 1	30	36	0,150	286	5145
Модель 3662-B-004	Два	6 × 6 × 2	30	72	0,150	286	4979
Модель 3662-C-001	Один	8 × 8 × 1	35	64	0,245	175	4410
Модель 3662-C-002	Два	8 × 8 × 2	35	128	0,245	175	4410
Модель 3662-C-003	Один	6 × 6 × 1	35	36	0,175	245	4410
Модель 3662-C-004	Два	6 × 6 × 2	35	72	0,175	245	4410
Модель 3662-D-001	Один	8 × 8 × 1	40	64	0,280	153	3859
Модель 3662-D-002	Два	8 × 8 × 2	40	128	0,280	153	3859
Модель 3662-D-003	Один	6 × 6 × 1	40	36	0,200	214	3859
Модель 3662-D-004	Два	6 × 6 × 2	40	72	0,200	214	3859

Конфигурация

ТРЕБОВАНИЯ К ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Microsoft® Windows® 8.1 Pro или Enterprise (x64), Windows® 7 Pro, Enterprise или Ultimate (SP1) (x32) и (x64)

ТРЕБОВАНИЯ К ДРУГОМУ ПРОГРАММНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ

Microsoft® Office 2007 (SP2) (x32), Office 2010 (SP2) (x32) или Office 2013 (x32)
Microsoft® SQL Server® 2008, 2008 R2, 2012 Express (SP 2) (входит в установочный пакет) или 2014 Express (SP1)

КОНФИГУРАЦИЯ КОМПЬЮТЕРА / ИНТЕРФЕЙСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СБОРА ДАННЫХ

Аналогично ПО PULSE.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ:

- PULSE 7700, 7770 или 7771;
- PULSE Acoustic Test Consultant, тип 7761.

Одно из:

- PULSE LAN-XI и интерфейсный драйвер для нескольких модулей IDAe/IDA модели 3099-A-X*
- Отдельный моудль PULSE LAN-XI и система IDAe/IDA интерфейсных драйверов любого размера модели 3099-A-X1*;
- Двойной модуль PULSE LAN-XI и система IDAe/IDA интерфейсных драйверов любого размера модели 3099-A-X2*.

* X = тип лицензии, либо N: узловая, либо F: нестрогая.

	Акустическая голография (Acoustic Holography), тип 8607	**Формирование диаграммы направленности (Beamforming), тип 8608**	**Сферическая диаграмма направленности (Spherical Beamforming), тип 8606**
Измерение			
Вывод на монитор	Да	Да	Да (для одной камеры)
Данные	Временные или спектральные	Временные	Временные
Процесс	Одно измерение, проход или сканирование	Одно измерение	Одно измерение
Оптическое изображение	Нет данных	Получение или повторное использование	Получение или повторное использование
Автоматический процесс	Автоматическое сохранение, автоматическое вычисление, выбираемое вычисление	Автоматическое сохранение, автоматическое вычисление, выбираемое вычисление	Автоматическое сохранение, автоматическое вычисление, выбираемое вычисление
Управление данными			
База данных	Несколько одновременно	Несколько одновременно	Несколько одновременно
Проверка метаданных	Да	Да	Да
Поиск по метаданным	Да	Да	Да
Изменение метаданных	Да	Да	Да
Вычисление			
Поддержка многоядерного вычисления	Да	Да	Да
Тип целевой сетки	Планарная, конформная	Планарная, конформная	Сферическая, конформная
Источник опорного сигнала	Физический и виртуальный	Физический	Физический
Методы	NAH, SONAH, ESM	Задержка и суммирование, улучшенный метод неотрицательных наименьших квадратов (NNLS)	SHARP, FAS
Фильтрация	Частотная, гармоническая	Частотная, гармоническая	Частотная, гармоническая
Домены	Стационарный, квазистационарный, переходной	Стационарный, квазистационарный, переходной	Стационарный, квазистационарный, переходной
Функция	Давление, интенсивность, относительная интенсивность, скорость частиц, интенсивность переднего источника, интенсивность заднего источника, рассеянная интенсивность, излучаемая интенсивность, коэффициент поглощения	Вклад давления, давление, интенсивность	Вклад давления, давление, интенсивность
Показатель размерности	Время, скорость вращения, угол	Время, скорость вращения, угол	Время, скорость вращения, угол
Интерфейс пользователя			
Уровни пользователя	Определен базовый и опытный пользователь	Определен базовый и опытный пользователь	Определен базовый и опытный пользователь
По умолчанию	Пользователь определен	Пользователь определен	Пользователь определен
Анализ вклада			
Мощность звука	Область, компонент	Область, компонент	Область, компонент
Отображение карты			
Количество экранов	от 1×1 до 4×4	от 1×1 до 4×4	от 1×1 до 4×4
Расположение экранов	Положение камеры, данные, частота, индекс, цветной масштаб	Положение камеры, данные, частота, индекс, цветной масштаб	Положение камеры, данные, частота, индекс, цветной масштаб
Воспроизведение	Вычисляемые точки	Вычисляемые точки	Вычисляемые точки
Создание отчета			
Вырезание и копирование	Один вид, все виды	Один вид, все виды	Один вид, все виды
Создание видео-файла	Управление анимацией, управление звуком	Управление анимацией, управление звуком	Управление анимацией, управление звуком
Генератор отчета в формате Microsoft® Word	По частотам, по индексам	По частотам, по индексам	По частотам, по индексам

	Акустическая голография (Acoustic Holography), тип 8607	Формирование диаграммы направленности (Beamforming), тип 8608	Сферическая диаграмма направленности (Spherical Beamforming), тип 8606
Возможности			
Вычисление*	Стационарность (по времени): Аналогично программе 8608. Сканирующие измерения при помощи робота (стационарность по частоте): • 5000 точек измерения для SONAH; • 10000 точек измерения для NAH и 2 опорных сигнала, а также 400-точечное БПФ (или эквивалент). Для большего количества точек измерения необходимо использовать базовое решение ПО PULS, известное как программа 7780.	Стационарность (по времени): • 300 с на частоте 12,8 кГц; • 60 точек измерения; • 8000 целевых точек; • 800-точечное БПФ (или эквивалент)	Стационарность (по времени): • 300 с на частоте 6,4 кГц; • 800-точечное БПФ; • 2592 целевых точек (шаг 5° по азимуту и углу места)
Вычисление*	Переходной процесс: • максимальная длина сигнала для вычисления переходного процесса составляет 1/15 от максимально измеряемой длины сигнала при выбранной частоте дискретизации†; • 60 точек измерения; • 400 целевых точек; • 300 кадров; • 800-точечное БПФ (или эквивалент)‡	Переходной процесс: • максимальная длина сигнала для вычисления переходного процесса составляет 1/4 от максимально измеряемой длины сигнала при выбранной частоте дискретизации†; • 60 точек измерения; • 400 целевых точек; • 300 кадров; • 800-точечное БПФ (или эквивалент)†	Переходной процесс: • максимальная длина сигнала для вычисления переходного процесса составляет 1/15 от максимально измеряемой длины сигнала при выбранной частоте дискретизации†; • 50 точек измерения; • 400 целевых точек; • 300 кадров; • 800-точечное БПФ (или эквивалент)
Измерение	Частотные данные: • определяется БПФ-анализатором PULSE; • 2000 точек измерения; • 6 опорных точек; • 400-точечное БПФ. Данные во временной области: аналогично 8606 и 8608	Данные во временной области: • 300 с на частоте 12,8 кГц; • определяется регистратором данных (Data Recorder, типа 7701, или Time Data Recorder, тип 7708)	Данные во временной области: • 300 с на частоте 12,8 кГц; • определяется регистратором данных (Data Recorder, типа 7701, или Time Data Recorder, тип 7708)

* Для одного параметра в один момент времени (например, для звукового давления, для интенсивности звука).

† Вычисление переходных процессов для длинных сигналов может быть выполнено отрезками. Эти значения справедливы для давления и скорости частиц. Для интенсивности эти значения должны быть разделены пополам.

‡ Полное соответствие требованиям Windows® 64-бита. Для Windows® 32-бита указанные в спецификации данные следует разделить пополам.

Информация для заказа

Модель/номер детали	Наименование	Информация о продукции	Акустическая голография (Acoustic Holography), тип 8607	Формирование диаграммы направленности (Beamforming), тип 8608	Сферическая диаграмма направленности (Spherical Beamforming), тип 8606
8606-X*	PULSE Array Acoustics Spherical Beamforming (Сферическая диаграмма направленности)	BP 2144	–	–	Требуется
8607-X*	PULSE Array Acoustics Acoustic Holography (Акустическая голография)	BP 2144	Требуется	–	–
8608-X*	PULSE Array Acoustics Beamforming	BP 2144	–	Требуется	–
BZ-5635-X*	PULSE Array Acoustics Quasi-stationary Calculations (Квазистационарные вычисления)	–	Доп. функция	Доп. функция	Доп. функция
BZ-5636-X*	PULSE Array Acoustics Transient Calculations (Вычисление переходных процессов)	–	Доп. функция	Доп. функция	Доп. функция
BZ-5637-X*	PULSE Array Acoustics Conformal Calculations (Конформные вычисления)	–	Доп. функция	Доп. функция	Доп. функция
BZ-5638-X*	PULSE Array Acoustics Sound Quality Metrics (Метрика качества звука)	BP 2144	Доп. функция	Доп. функция	Доп. функция
BZ-5652-X*	PULSE Array Acoustics External Plug-in Manager (Менеджер внешних плагинов)	BP 2531	Доп. функция	Доп. функция	Доп. функция
BZ-5644-X*	PULSE Array Acoustics Acoustic Holography (Акустическая голография)	BP 2530	Доп. функция	Доп. функция	–
BZ-5639-X*	PULSE Array Acoustics Refined Beamforming Calculations (Улучшенные вычисления для формирования диаграммы направленности)	BP 2543	–	Доп. функция	–
BZ-5939-X*	PULSE Array Acoustics Rail Vehicles Moving Source Beamforming (Формирование диаграммы направленности для движущегося железнодорожного транспорта)	BP 2454	–	Доп. функция	–
BZ-5940-X*	PULSE Array Acoustics Flyover Moving Source Beamforming (Формирование диаграммы направленности для пролегающих источников звука)	BP 2537	–	Доп. функция	–
BZ-5941-X*	PULSE Array Acoustics Wind Turbines Moving Source Beamforming (Формирование диаграммы направленности для перемещающихся источников звука ветровых турбин)	BP 2493	–	Доп. функция	–
BZ-5943-X*	PULSE Array Acoustics Road Vehicles Moving Source Beamforming (Формирование диаграммы направленности для перемещающихся автомобилей)	BP 2453	–	Доп. функция	–
BZ-5963-X*	PULSE Array Acoustics Proximal Holography (Голография в ближнем поле)	BP 2538	Доп. функция	–	–
BZ-5370	PULSE ATC Robot Option (Функция роботизации)	BP 1908	Доп. функция	–	–
BZ-5640	PULSE Panel Contribution (Вклад панели)	BP 2452	Доп. функция†	–	–
BZ-5641	PULSE Intensity Component Analysis (Анализ компонентов интенсивности)	BP 2452	Доп. функция†	–	–
BZ-5642	PULSE In Situ Absorption (Поглощение на месте установки)	BP 2452	Доп. функция†	–	–
BZ-5611	PULSE AT C Positioning Option (Функция позиционирования)	BP 1908	Доп. функция	–	–
7761-X*	PULSE Acoustic Test Consultant (Консультант по акустическим испытаниям)	BP 1908	Должно быть установлено	Должно быть установлено	Должно быть установлено
7700/7770/7771-Xy*,‡	PULSE FFT & CPB/FFT/CPB (БПФ и 1/n-октавный анализ/БПФ/1/n-октавный анализ)	BU 0229	Должно быть установлено	Должно быть установлено	Должно быть установлено
3099-A-X/X1/X2**	Интерфейсный драйвер	BP 2398	Должно быть установлено	Должно быть установлено	Должно быть установлено

* X = тип лицензии: либо N для узловой, либо F для нестрогой лицензии

† требуется ПО PULSE Array Acoustics Conformal Calculations (Конформные вычисления) BZ-5637-X

‡ y = дополнительное количество каналов, от 1 (один) до 7. Отсутствие номера означает неограниченное количество каналов (не зависит от каналов)

**См. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ на стр. 13

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Модель 9665	Система позиционирования решетки (робот)
UA-2145	Передняя панель для подключения решетки к модулям LAN-XI 11
WA-0810	Опорная стойка для периодической решетки
WA-0806	Решетка со встроенным подключением
WA-0807	Решетка с гибким подключением
WB-1477	Контроллер робота
WU-0695-W-001	Система позиционирования оптического датчика 3D Creator
WA-1565-W-003	Сферическая решетка с 36 каналами
WA-1565-W-004	Сферическая решетка с 50 каналами
WA-1647-W-001	Крепление для установки сферической решетки на сидение автомобиля
WA-0728-W-004	Одноканальный переходник акустического резонатора, стетоскоп, для сферической решетки с микрофонами модели 4959
WA-0728-W-005	Одноканальный переходник акустического резонатора, версия стетоскопа для складной решетки с микрофонами модели 4959
WA-0890	Решетка для формирования диаграммы направленности в виде целого колеса/половины колеса
WA-1558	Решетка в виде сегментированного колеса
WQ-2691	Штатив
WA-0893	Тележка для решетки в виде половины колеса
Модель 3662-X-yyy[†]*	Портативная решетка (см. табл. 1)
Модель 4957	Микрофонная решетка 10 кГц
Модель 4958	Микрофонная решетка 20 кГц
Модель 4959	Очень короткая микрофонная решетка 10 кГц

Роботы изготавливаются только по индивидуальному заказу. Необходимо связаться с компанией Brüel & Kjær.

ОБСЛУЖИВАНИЕ И ПОДДЕРЖКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Доступно для всех программных пакетов (см. публикацию "Информация о продукции" BP 1800)

[†] X = A, B, C или D, что соответствует стандартному шагу 25, 30, 35 или 40 мм; yyy = 001, 002, 003 или 004, что соответствует количеству каналов 8×8×1, 8×8×2, 6×6×1 или 6×6×2.

© Brüel & Kjær. Все права защищены.

BP 2144 – 25 2015-09

Brüel & Kjær и все другие торговые марки, знаки обслуживания, бренды, логотипы и наименования продуктов являются собственностью компании Brüel & Kjær или других компаний.

Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S
DK-2850 Nærum · Denmark · Телефон: +45 77 412000 · Факс: +45 45 801405
www.bksv.com · info@bksv.com
Местные представительства расположены по всему миру

Несмотря на то, что для обеспечения точности информации, представленной в документе, приложены определенные усилия, содержание документа не может быть истолковано как подразумевающее или гарантирующее определенную точность, актуальность или полноту сведений, а также не является основой какого-либо договора. Содержимое документа может быть изменено без уведомления. Получить последнюю версию документа можно в компании Brüel & Kjær.