

Заглушай и властвуй:

как перестать беспокоиться
и выбрать правильную безэховую
акустическую камеру

за 10 минут



Текст: Дмитрий Кондрашов



В России наблюдается стремительный рост потребностей по различным видам испытаний, связанных с проверкой функционирования устройств в той или иной среде. Но едва ли этому факту можно радоваться в полной мере. Очевидно, что данный рост — это всего лишь закономерное движение после чудовищного спада, если не сказать, провала последних десятилетий в отечественной промышленности. В очередной раз с горечью приходится вспоминать избитые фразы и заявления о полной потере колоссального потенциала ВПК, созданного в СССР. Но несмотря на текущие экономические трудности можно отметить, что российские производители проявляют все большую заинтересованность в улучшении качества выпускаемой продукции и её способности выдерживать самые жесткие виды нагрузок. Слово «качество» подразумевает, в первую очередь, полное соответствие международным и российским стандартам производимой аппаратуры, а не рекламную уловку, которой грешат многие в современном мире, связывая это понятие с мифическим «врожденным» талантом, обусловленным страной происхождения или каким-либо другим свойством.



1 Экранированные камеры Frankonia в процессе сборки



2 Камеры устанавливаются в новом отремонтированном помещении

Сегодня можно с уверенностью сказать, что благодаря некоторым быстроразвивающимся в России областям испытаний можно ожидать улучшения качества и надежности изделий в целом. При этом добиться реальных результатов становится все сложнее. Перед современным российским производителем стоит настоящая дилемма, которая заключается в поддержании качества продукции на уровне советских стандартов — с одной стороны и согласованием на производстве устаревших стандартов с новыми ГОСТами, которые диктуют новейшие технологии — с другой. Одним из выходов из такой проблемной ситуации является не замена старого ГОСТа на новый, а смена технического подхода и использование современных материалов и технологий, которые должны полностью соответствовать необходимым требованиям. К примеру, общеизвестен факт, что в отечественных ГОСТах на экранированную камеру четко указано, что конструкция помещения должна быть сварная. Однако большинство современных производителей предлагает модульную разборную конструкцию. При этом модульные экранированные камеры во многих случаях обладают лучшими характеристиками по экранировке и способны работать вплоть до 40 ГГц (при использовании специализированного материала до 110 ГГц). Модульная конструкция в несколько раз легче и имеет огромные преимущества при сборке. Это позволяет размещать экранированную камеру рис 1, 2 в любом помещении и на любом этаже, отсутствие сварочных работ гарантирует чистоту монтажа и сохраняет новое помещение. Кроме того, при необходимости можно без труда разобрать данную ка-

меру и перенести в другое здание или на другой объект при условии, что в дальнейшем вам будет необходимо переаттестовывать вашу камеру, но эти затраты будут несравнимо малы по сравнению с полной заменой сварного помещения. Это один из примеров того, как применение современных технологий и рациональный подход к устаревшим стандартам позволяют в конечном итоге сэкономить бюджетные средства и найти оптимальное решение вашей задачи.

В России в последние 5-7 лет количество безэховых экранированных камер и сопутствующего оборудования, а также проведение комплексных испытаний на ЭМС и антенных измерений растут семимильными шагами. Это означает, что появляется больше молодых специалистов, которые могут работать с современными средствами тестирования, делиться опытом с другими отечественными производителями и, наконец, брать все самые лучшие решения от мировых лидеров области и создавать отечественные аналоги. Не меньшими по сложности организации и измерениям видами тестирования являются также различного рода акустические испытания. Конструкция безэховой акустической камеры принципиально отличается от её собратьев из СВЧ-диапазона, а сложность реализации и построения во многих случаях гораздо выше и требует вовлечения большого количества первоклассных специалистов. Поэтому хочется уделить особое внимание акустическим испытаниям, т. к. столь интенсивного развития и увеличения потребностей, как в тестировании на ЭМС, на данный момент не наблюдается.



3
Акустическая безэховая камера IAC Acoustics

В данной статье будут рассмотрены, прежде всего, современные стандарты, которые постоянно видоизменяются и имеют очень много схожих особенностей, однако качество изделий по этим стандартам на выходе будет сильно различаться. Также мы рассмотрим непростой выбор технического решения, которое будет полностью соответствовать вашим ожиданиям, опишем самые современные средства акустического тестирования и покажем принципиальную разницу между ними.

Как известно, в сфере измерения акустических параметров есть два вида специализированных ISO стандартов для расчета уровней звукового давления в лабораторных условиях:

ISO 3745 — точный метод;

ISO 3744 — инженерный (расчетный) метод.

Данные стандарты отличаются, в первую очередь, подходами к проведению тестирования, включая обеспечение безэховой среды для акустических испытаний. В данной статье мы попытались изложить в удобной и краткой форме основные различия между этими двумя стандартами с точки зрения процедур квалификации акустической камеры и их влияния на достоверность полученных данных и взаимозаменяемость. Сравнение стратегий проведения аттестации акустической камеры будет приведено с рекомендацией для увеличения скорости проведения теста, а также анализа и отображением результатов тестирования.

Стандарты ISO 3744 и ISO 3745 — это часть серий стандартов ISO 3740, которые устанавливают методы для определения уровней звукового давления (Sound Pressure Level, далее SPL) для различных типов оборудования путем измерения звукового давления. ISO 3745 является точным (прецизионным) методом, а ISO 3744 — методом инженерного типа (расчетным). Оба этих стандарта требуют обеспечения условий свободного поля или свободного поля с плоской отражающей средой, которая предполагает проведение измерения в безэховой или полубезэховой камере **рис 3**. Таким образом, установленная на предприятии или в лаборатории безэховая акустическая камера должна в полной мере отвечать всем требованиям, которые предписывает тот или иной стандарт. На данный момент существуют два основных требования для акустической среды, которые должны соответствовать ISO 3744 и ISO 3745:

- допустимая погрешность создаваемого свободного звукового поля в безэховой камере (Free Field Adequacy, далее — FFA);
- фоновый шум (Background Noise).

Если требования по фоновому шуму в камере зависят от уровня шума тестируемого источника звука, то основной критерий для FFA не зависит от источника звука, который испытывается внутри заглушенного помещения. Стандарты ISO 3744 и ISO 3745 прежде всего нацелены на обеспечение свободного звукового поля

в безэховой камере при помощи определения допустимого отклонения от идеального значения свободного поля. Другими словами, проводя измерения в безэховой камере, мы должны быть полностью уверены, что отклонение от теоретического значения акустического свободного поля минимально, и аппроксимируемая вычисленная звуковая мощность максимально близка к реальному значению звуковой мощности источника.

Требования к испытаниям по стандартам ISO 3745 и ISO 3744

РАЗДЕЛ А. ТРЕБОВАНИЯ К БЕЗЭХОВОЙ КАМЕРЕ ПО СТАНДАРТУ ISO 3745

Допустимая погрешность создаваемого свободного звукового поля в безэховой камере (FFA).

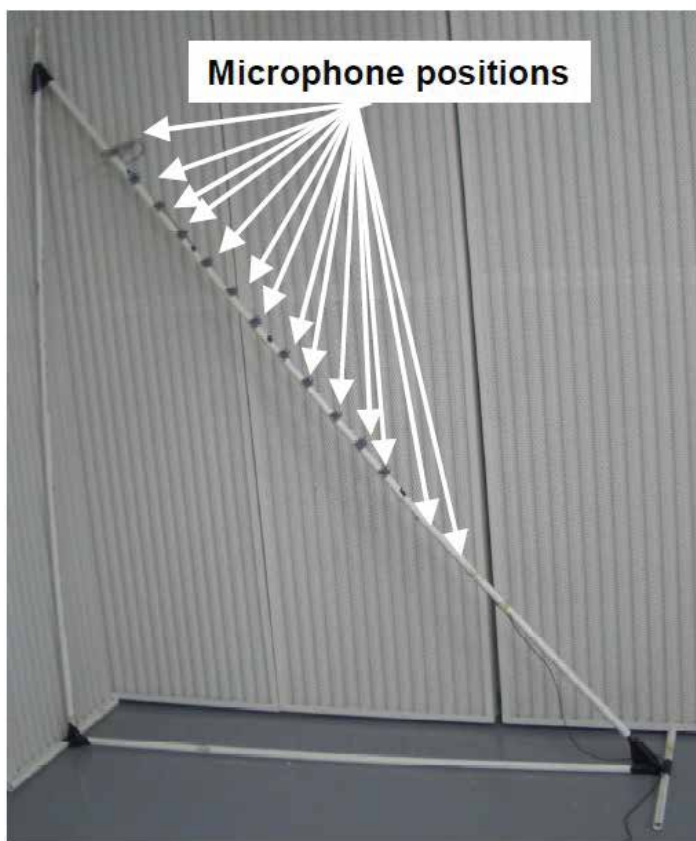
Главный критерий для FFA — правильная конструкция и размещение поглощающего материала самой камеры, независимо от тестируемого источника звука, как описывалось выше. Основным принципом является сравнение уменьшения SPL относительно дистанции от испытываемого изделия в безэховой камере и сравнения ожидаемого уменьшения SPL в реальном условии свободного поля, т.е. звуковое давление снижается по отношению к расстоянию согласно закону обратной квадратичной зависимости. За точку отсчета принимают тестируемый источник звука, который должен быть все-направленным и генерировать достаточную выходную мощность таким образом, чтобы его амплитуда в самых удаленных углах безэховой камеры была выше фонового шума не менее, чем на 10 дБ. Например, для испытания источника случайного шума измерения должны проводиться с большим количеством регистрируемых точек, расположенных как минимум в пяти направлениях от геометрического центра источника до углов безэховой камеры. Традиционно данное измерение выполняется в виде регистрируемого звукового давления от микрофона, который медленно перемещается от источника к каждому из пяти концов направляющих. Использование современного оборудования, которое позволяет организовать многоканальную систему сбора данных гораздо эффективнее и быстрее, позволяет одновременно захватывать большее количество данных от микрофонов, расположенных по всему периметру камеры. На рис 4 показаны «телескопические» микрофонные системы, которые были использованы для процедуры аттестации по стандарту ISO3745 в безэховой камере на рис 3.

Измеренное звуковое давление снижается с увеличением расстояния от источника звука, оно сравнивается с теоретическим падением уровня (6 дБ за двойную дистанцию) от точки источника в свободном звуковом поле, и разница должна быть меньше, чем значение, приведенное в Т 1. Если эта разница превышает максималь-

Т 1

Допустимое отклонение измеренного SPL от рассчитанных значений, определенных на основе закона обратной квадратичной зависимости

Тип камеры	1/3 полоса октавы (Гц)	Допустимое отклонение (дБ)
Безэховая камера	< 630	1,5
	От 800 до 5,000	1,0
	> 6,300	1,5
Полубезэховая камера	< 630	2,5
	От 800 до 5,000	2,0
	> 6,300	3,0



4

Микрофонная система для аттестации по ISO 3745

ное значение, то должен быть использован стандарт ISO 3744. Таким образом, данное отношение определяет стандарт тестирования, по которому необходимо проводить измерения.

Другим способом проведения испытаний является метод, приведенный в разделе Б, который оценивает «качество свободного поля» безэховой камеры с определенным тестируемым источником шума. Микрофоны находятся на двух измеряемых полусферах с разными радиусами и расположены по центру относительно источника звука. Основное отличие заключается в усреднении значений звукового давления, снятых микрофо-

нами с внутренней полусферы S_1 и внешней полусферы S_2 , которое вычисляется по формуле:

$$\delta = L_{p1} - L_{p2} - 10 \log (S_2/S_1) \text{ дБ},$$

где:

L_{p1} — усредненное SPL на поверхности 1 (S_1), в дБ

L_{p2} — усредненное SPL на поверхности 2 (S_2), в дБ

Если значение δ меньше, чем 0,5 дБ в каждой полосе частот, тогда камера аттестуется по стандарту ISO 3745, но когда тестирование проводится определенным источником, то используется метод для аттестации, приведенный в разделе Б (условная совместимость).

Фоновый шум

На каждой измеряемой позиции и в каждой полосе частот уровень от источника звука должен быть выше, по крайней мере, на 10 дБ уровня фонового шума.

РАЗДЕЛ Б. ТРЕБОВАНИЯ К БЕЗЭХОВОЙ КАМЕРЕ ПО СТАНДАРТУ ISO 3744

Допустимая погрешность создаваемого свободного звукового поля в безэховой камере (FFA).

Главным критерием для FFA по стандарту ISO 3744 является правильная конструкция и размещение поглощающего материала самой камеры. Средой для проведения испытаний может выступать как полубезэховая камера, так и стандартное помещение при условии, что будут выполняться требования, приведенные в разделе А. Используя фактор коррекции окружения K_2 , который основывается на разнице между свободным полем безэховой камеры и реальным (теоретическим) значением поля. Испытания по стандарту ISO 3744 являются достоверными, если коэффициент коррекции $K_2 \leq 2$ дБ в каждой полосе частот. Двумя видами подтверждения соответствия данному стандарту являются:

- метод сравнения абсолютных величин, при котором измеряется SPL опорного источника звука и сравнивается с калиброванным значением амплитуды;
- метод расчета коэффициента поглощения в безэховой камере, при котором коэффициент K_2 вычисляется при измерении поглощения внутри камеры прямым способом или с помощью аппроксимирования.

Фоновый шум

Усреднение всех данных, снятых с разных позиций микрофона на измерительной поверхности, и полученное значение уровня фонового шума в каждой полосе частот должно быть ниже не менее чем на 6 дБ уровня тестируемого источника звука. Если разница между источником и фоновым шумом больше, чем 10 дБ, то проведение коррекции измеренных уровней не требуется. Однако если разница лежит в значениях от 6 до 10 дБ, следует применять другой коэффициент коррекции K_1 , который подробно описывается в стандарте ISO 3744.

Технические решения для создания правильной безэховой камеры

Развитие и применение различных видов тестирования становится все более актуальным в России. Если рассматривать ситуацию в мировом масштабе, то можно также увидеть возрастающий интерес к проведениям акустических испытаний в безэховых камерах. На сегодняшний день ведущим разработчикам и производителям с помощью новейших технических решений удалось добиться снижения стоимости разработки, изготовления и сборки акустических камер, а также простоты обслуживания и увеличения срока службы материалов по сравнению с предыдущими камерами. И в первую очередь, уделяется особое внимание тем поглотителям, которые используются для создания свободного звукового поля, а также модернизации уже имеющихся объектов для минимизации капиталовложений.

Акустическая камера представляет собой очень точное средство для измерения и контроля метрологических величин, что хорошо видно из ГОСТов, которые регламентируют работу данного оборудования. В акустической камере помимо измерения звуковой мощности проводят точные измерения вибрации изделий. И безусловным лидером в данной области является компания IAC Acoustics. С 1949 года она производит сложнейшие расчеты и сборку различных средств тестирования «под ключ». На данный момент реализовано более 1000 различных проектов по всему миру, включая Российскую Федерацию и страны Таможенного союза.

Что-то же делает безэховую камеру IAC Acoustics особенной?

1. Конструкция акустической камеры и её тип. Три основных типа камер:
 - безэховые;
 - полубезэховые;
 - реверберационные.
2. Современные поглотители звука, отвечающие требованиям стандарта ISO 3745 и ISO 3744:
 - IAC PlanarCHOIC — плоские поглотители;
 - IAC Metadyne — клиновидные поглотители;
 - IAC Microdyne Schedule — клиновидные поглотители для научных исследований и максимальной шумоизоляции.
3. Система двойных стен и дверей для обеспечения защиты от внешнего шума, влияющего на результаты измерений:
 - IAC Noise-Lock — система двойных дверей;
 - IAC Hardliner — система стеновых панелей.
4. Система виброизолированного пола, позволяющего измерять частоту вибрации от 4,5 Гц.
5. Система «глушителей» для вентиляции.
6. Система контроля температуры, давления и влажности, которые сильно влияют на результаты точных измерений.

7. Системы коммуникаций, обеспечивающие исключение влияния внешних воздействий вибрации и шума.
8. Возможность экранирования акустической камеры до 80 дБ.

И последним, но не менее значимым преимуществом является колоссальный опыт и огромный инженерный потенциал сотрудников компании. Детально описывать каждое преимущество в данной статье не представляется возможным, поэтому остановимся на одном из самых важных пунктов — поглотителях звука.

Плоские поглотители IAC PlanarCHOic

Благодаря плоским поглотителям IAC PlanarCHOIC возможна работа со стандартом ISO 3744 **рис 5**. Данные поглотители экономят пространство и деньги, т.к. по стандарту обеспечения свободного поля длина клиновидного поглотителя должна быть обратно пропорциональна частоте среза. К примеру, клиновидные поглотители под частоту сигнала 25 Гц по длине должны составлять около 3 м (!). Соответственно, это огромные затраты на материал и размеры используемого помещения, и такое помещение не всегда можно найти на предприятии.

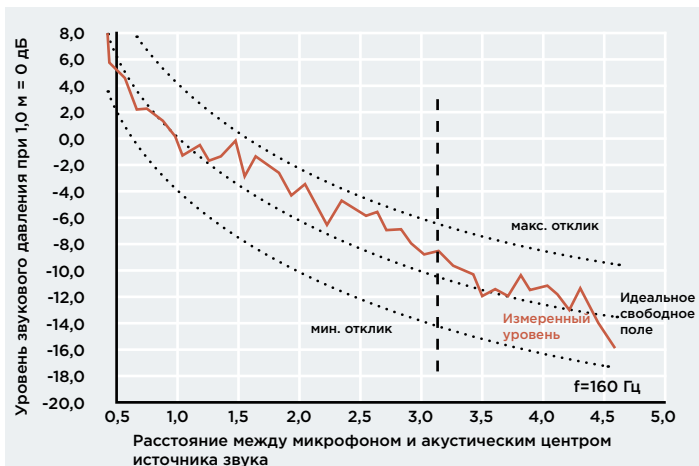
Плоский поглотитель — это модульные перфорированные панели со специальным негорючим наполнителем. За время многолетней интенсивной работы с помощью сложных расчетов специалисты IAC Acoustics добились отличных результатов по созданию свободного акустического поля с материалом PlanarCHOIC. Эффективность данного материала и подтвержденные в независимых лабораториях сертифицированные результаты измерений PlanarCHOIC представлены на **рис 6** и **рис 7**. Используемый материал можно красить в цвета заказчика, он негорючий и сохраняет свою форму на многие десятилетия, в отличие от стекловолокна или пенных материалов, которые уже через пару лет теряют свои свойства и внешний вид.



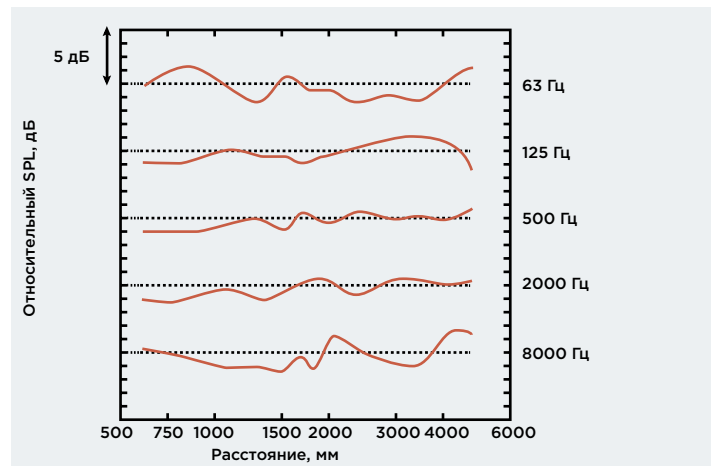
5 Пример реализованной акустической камеры IAC Acoustics с материалом PlanarCHOIC

Клиновидные поглотители IAC Metadyne

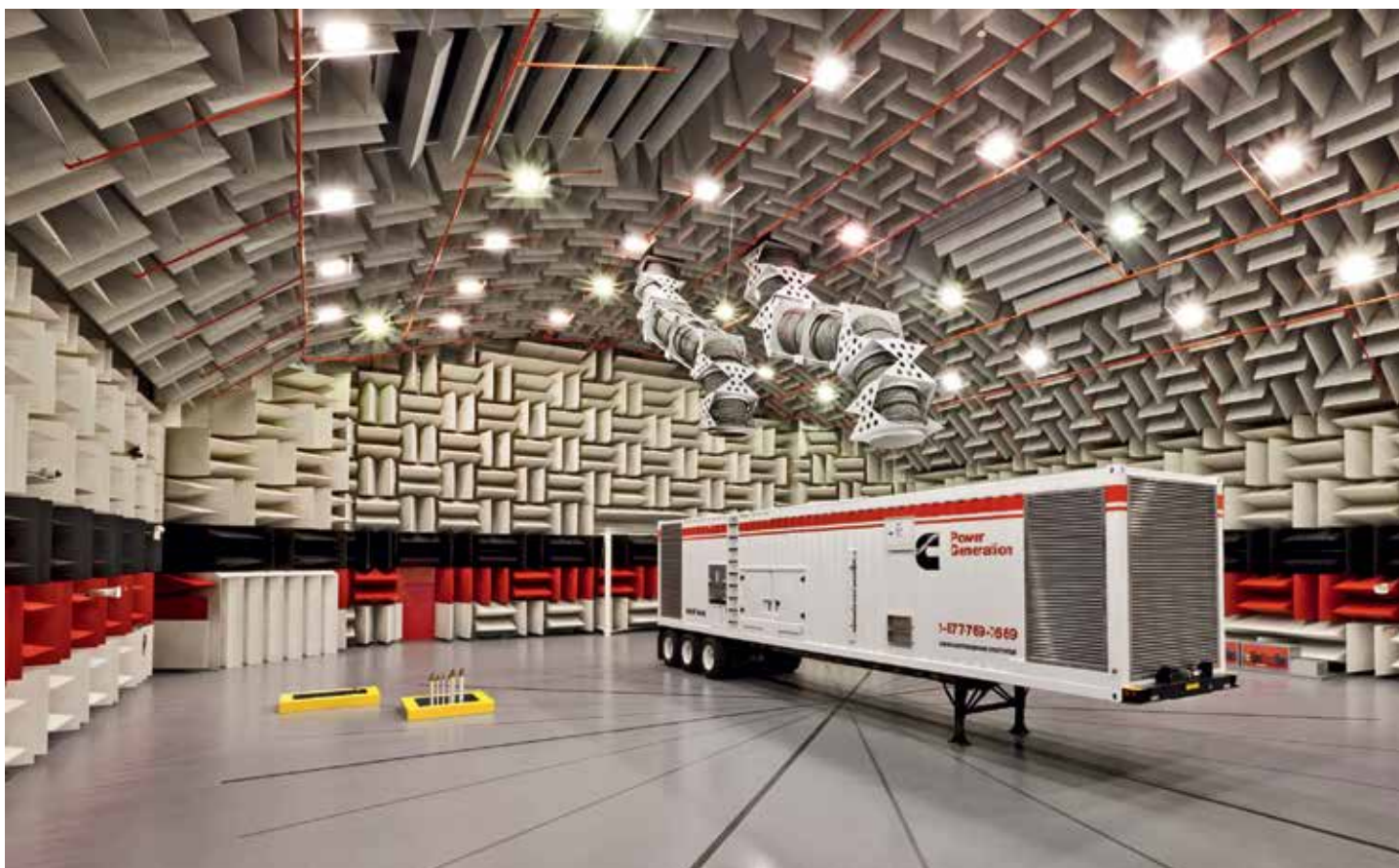
Безэховые и полубезэховые камеры, в которых применяются поглотители Metadyne® **рис 8**, были выбраны ведущими мировыми компаниями для испытаний и проведения измерений благодаря множеству уникальных преимуществ по сравнению с камерами, создаваемыми с использованием других материалов, таких как стекловолокно или пены. Как уже говорилось, длина клиновидного поглотителя с частотой работы 25 Гц должна составлять более 3 м. Для стекловолокна и пены это очень большая проблема, т.к. при такой длине клинья провисают под собственным весом и быстро теряют работоспособность. Это ведет к замене поглотителей и, как следствие, к значительным дополнительным



6 Эффективность IAC PlanarCHOIC на частоте 160 Гц и отклонение от закона обратной квадратичной зависимости, кривая 1



7 Измеренные кривые IAC PlanarCHOIC по закону обратной квадратичной зависимости



8

Пример реализации безэховой акустической камеры на основе клиновидных поглотителей IAC Metadyne

затратам. Клинья Metadyne® были разработаны IAC в качестве решения ряда проблем, связанных с использованием 100 % пены или стекловолокна. Длина клиновидного поглотителя рассчитывается по нижней границе частоты среза рабочего диапазона. IAC стала первым производителем, который обеспечил акустические характеристики высочайшего стандарта с широким диапазоном клиньев, полностью установленных в перфорированные металлические кожухи. Клинья Metadyne® идеально подходят для крупных устройств и продукции, требующей измерения на низких частотах. Прочная конструкция клиньев и их долговечность необходимы лабораториям, работающим с тяжёлым оборудованием и/или воспламеняющимися материалами. Все клинья Metadyne® производятся на заводах IAC в соответствии с самыми жесткими стандартами. Это значит, что унифицированная обработка может быть выполнена на крупных мировых проектах, обеспечивается акустическая характеристика каждого клина. Возможности и преимущества клиновидных поглотителей Metadyne® предоставляют:

- гарантированную акустическую характеристику с очень низкими частотами среза;
- соответствие международным стандартам по испытаниям, включая ISO 3745, ISO 3744, ISO 26101;

- превосходную огнестойкость и ударопрочность;
- повышенную долговечность и длительный срок службы в отличие от любого другого типа клина;
- лёгкость очистки для поддержания внешнего вида на протяжении срока эксплуатации;
- благоприятную для здоровья и безопасную рабочую среду;
- разнообразные заказные варианты лакокрасочных покрытий для обеспечения соответствия цветам заказчика.

Сравнение плоских и клиновидных поглотителей

С помощью плоских звукопоглощающих панелей в полубезэховых камерах можно создать свободное звуковое поле. Такие панели, как правило, используются, если пространство ограничено, так как они занимают меньше места в отличие от камеры с покрытием из клиновидных форм. Плоский безэховый диапазон поглощения IAC Planarchoic™ может быть настроен для работы с определёнными частотами, также как и диапазон с клиньями Metadyne®. Несмотря на то, что камеры, покрытые Planarchoic™, обладают преимуществом в виде увеличения доступной площади помещения, площадь свободного поля является ограниченной РИС 9.

Камеры со свободным полем Planarchoic™ — всегда полубезэховые. Как правило, они больше по размеру, могут устанавливаться на жесткой поверхности при отсутствии структурно-передаваемой вибрации и шума. Камеры Planarchoic™ подходят для измерения звуков автомобилей, трансформаторов и прочего промышленного оборудования, не требующего высокой точности измерений.

Особое внимание следует уделять отношению объема камеры Planarchoic™ к размерам объекта испытания для обеспечения свободного звукового поля за счёт сокращенного пространства.

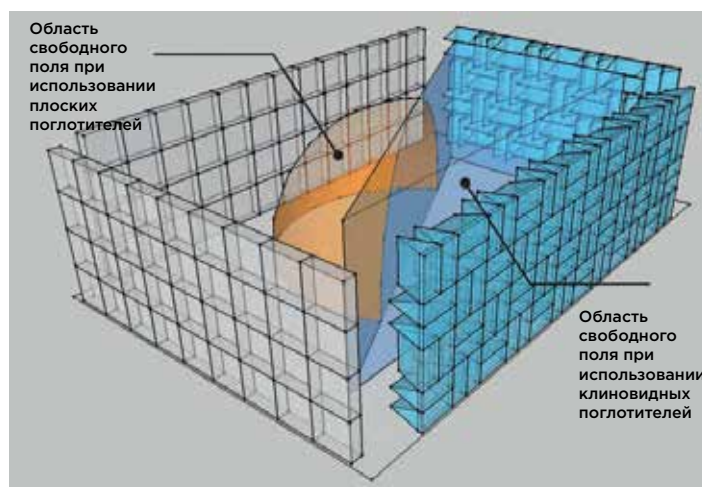
Хотя плоские поверхности способны отражать меньше звуковых волн, но, несмотря на акустическую обработку, их эффективность, как правило, не столь высока, как у клиновидных поглотителей. Однако существуют комбинированные решения рис.10, когда безэховые клинья совмещают с плоскими поглотителями. Это дает дополнительное приращение к эффективности звукопоглощения. Данный тип камер не очень популярен и используется при решении специфических задач.

Поэтому все прецизионные акустические измерения зависят от правильно выбранного материала. Для разработки и исследований нужна высокая точность, и в большинстве случаев необходимо использовать клиновидные поглотители.

Все камеры IAC с клиновидными поглотителями сертифицированы в соответствии с ISO 3745 в части, касающейся определения точных уровней акустической мощности (Класс 1). Камеры с плоскими поглотителями, установленными на поверхностях соответствуют требованиям ISO 3744, который распространяется на неточные измерения уровней акустической мощности (Класс 2).



10 Полубезэховая камера с плоскими поглотителями на стенах и с клиньями на крыше для увеличения эффективности поглощения



9 Область свободного звукового поля внутри полубезэховой камеры при сравнении поверхностей, покрытых плоскими поглотителями и клиньями

Совместимость со стандартом ISO 3745 — это основная цель, которую преследует большинство организаций во всем мире, занимающихся измерением мощности звука для различных видов испытаний. Данный стандарт гарантирует высочайший уровень точности измерений, однако для достижения столь высоких требований необходимо обладать значительным опытом построения безэховых камер и идеальными условиями, которая эта камера должна обеспечивать. Во многих случаях стандарт ISO 3744 также может предоставить хорошие показатели по точности, которые будут достаточными для измерения некоторых типов устройств, где высокая точность слишком дорога и избыточна. В T2 представлены основные различия двух стандартов ISO 3744 и ISO 3745, которые основываются на уровне точности амплитуды звукового сигнала.



Таблица стандартных отклонений SPL по стандартам ISO 3744 и ISO 3745

Допустимое стандартное отклонение (σ)		
1/3 полосы октавы центральной частоты		ISO 3745
Гц	Безэховая камера, дБ	Полубезэховая камера, дБ
от 50 до 80	2	2
от 100 до 630	1	1,5
от 800 до 5000	0,5	1
от 6300 до 10000	1	1,5
от 12500 до 20000	2	2
Средневзвешенное значение уровня звукового давления	0,5	0,5

1/3 полосы октавы центральной частоты		ISO 3744
Гц		дБ
от 50 до 80		5
от 100 до 630		3
от 800 до 5000		2
от 6300 до 10000		1,5
от 12500 до 20000		2,5
Средневзвешенное значение уровня звукового давления		1,5

Мы надеемся, что информация, представленная в статье, поможет специалистам разобраться в основных аспектах безэховых камер и сделать правильный выбор, руководствуясь не рекламными материалами, а современными стандартами тестирования. Статья рассчитана на тех специалистов, которые только задумываются над проведением акустических испытаний и измерений или не имеют достаточных знаний в этой области. Разумеется, ни один специалист не сможет подобрать полностью готовое решение за короткий период времени, т.к. перед разработкой камеры необходимо рассчитать уровень внешних воздействий, которые находятся в непосредственной близости от акустической камеры. Это особенно критично для предприятий, расположенных в черте больших городов или шумных объектов (например, аэропорт). Также необходимо рассчитать виброизолированный пол для безэховой камеры, учитывая все тонкости имеющегося у заказчика помещения.

После прочтения этой статьи вы сможете определить необходимый тип камеры, оценить, по какому стандарту проводить испытания, выбрать необходимый тип поглотителя и требуемую систему коммуникаций в камере. Вся остальная работа по разработке, сборке и аттестации будет выполнена специалистами ООО «Остек-Электро». 