

# ИСПЫТАНИЯ БЕЗ ПОМЕХ

Безэховые камеры — новые возможности  
для российской промышленности

Подготовил Павел КИРИЛЛОВ



Стандарты испытаний электронного оборудования в акустических и электромагнитных безэховых и экранированных камерах были заложены в СССР. После продолжительного упадка в последние несколько лет производство и внедрение отдельных безэховых и реверберационных камер, испытательных комплексов вновь возвращает статус перспективных для отечественной промышленности направлений. Стоит отметить, что за 50 лет физика процессов в акустических и радиочастотных камерах не менялась, поэтому концепция безэховых помещений актуальна до сих пор. Не слишком далеко ушли и мировые производители как самих камер, так и сопутствующего оборудования. И потому у российских компаний этого профиля есть все шансы на успех на внешнем рынке.

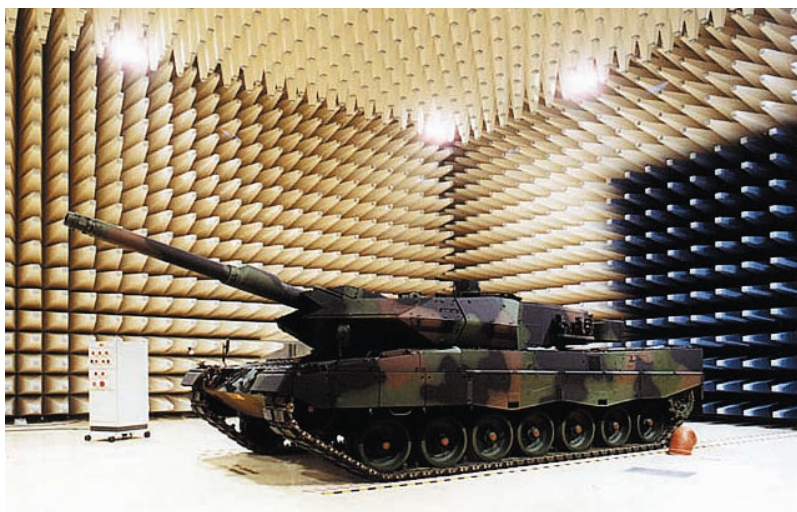
При этом, несмотря на кажущуюся простоту, создание безэховой камеры требует серьезного инженерного потенциала и кропотливой работы с множеством сложных расчетов. Одно из направлений деятельности подразделения инжиниринговой компании Остек — ООО «Остек-Электро» — проектирование, установка и обслуживание безэховых ра-

диочастотных и акустических камер. «Остек-Электро» также помогает своим клиентам сделать оптимальный выбор конструкции камер и сопутствующего испытательного оборудования, в том числе российского.

О назначении безэховых камер в современном производственном цикле, об особенностях их конструкции, а



Дмитрий Кондрашов



Полубезэховая камера для испытаний на ЭМС согласно военным стандартам MIL-STD-461F

также о том, почему в ближайшие несколько лет количество испытательных камер в России увеличится в десятки раз, рассказал **начальник группы ЭМС «Остек-Электро» Дмитрий Кондрашов.**

– Что такое безэховая камера или комната? Это некая среда, которая, в зависимости от ее устройства и предназначения, позволяет обеспечить точное измерение характеристик электромагнитных волн различного оборудования или создать равномерное распределение звуковых колебаний. Это то пространство, где можно тестировать устройство без каких-либо существенных помех. Для создания такой безэховой среды требуются специализированные поглотители, настроенные на нижнюю границу измеряемого частотного диапазона, а также дополнительные элементы, обеспечивающие требуемые характеристики согласно ГОСТам и другим стандартам. В зависимости от вида измеряемых волн существуют акустические и радиочастотные экранированные, безэховые и полубезэховые камеры. А также их частный случай – реверберационные камеры.

Самой простейшей радиочастотной камерой является обычная экранированная камера, выполненная по принципу клетки Фарадея. Она представляет собой некий замкнутый объем из модульных конструкций (в прежние годы камеры были сварными. – **Прим. ред.**), который позволяет защищать секретную информацию по радиочастотному каналу. Основным назначением таких конструкций является

фильтрация и исключение нежелательных помех по сети питания. Радиосигнал не может уйти из экранированной камеры и попасть внутрь нее. Экранированные камеры могут быть использованы для защиты жизни и здоровья персонала от вредного воздействия мощных электромагнитных полей, например, на космодромах или при испытаниях с высоким уровнем напряженности поля. Такие камеры также защищают от разрушительного электромагнитного воздействия и электронные устройства различных систем управления.

В безэховой радиочастотной камере основой является тот же экран, по сути, это металлический короб с различными фильтрами и специальными системами ввода и вывода. Внутренняя поверхность экранированного помещения покрывается специальным материалом, который поглощает радиоволны определенного диапазона частот – от 9 кГц до 110 ГГц. Таким образом безэховая камера обеспечивает определенную среду, в которой можно проводить те или иные испытания, предписанные ГОСТами. Полубезэховая камера конструктивно отличается от безэховой тем, что ее пол не покрыт радиопоглощающим материалом. Полубезэховое помещение разрабатывается под стандарты электромагнитной совместимости (ЭМС). Полубезэховое помещение удобно для измерения крупногабаритного изделия, например, автомобиля. Полубезэховую камеру используют в тех случаях, когда применяются ГОСТы с до-

статочно широкими допусками как по радиопоглощению, так и по точности измерения. В основном такие помещения применяют в гражданском промышленном секторе в крупносерийном производстве. Радиочастотные безэховые и полубезэховые камеры используются для настроек различных антенн, радиолокации, при испытаниях ЭМС радаров, систем радиолокационной борьбы, блоков системы зажигания двигателей, блоков управления и коммутации.

Безэховая камера – это, конечно, не только «коробка» и поглощающий материал, но и целый комплекс контрольно-измерительного оборудования, а также дополнительных устройств, обеспечивающих механическое перемещение испытываемого устройства или тестового оборудования. Фактически это полностью оборудованный стенд с рабочим местом. Кстати, и сама по себе «коробка» требует умелого обращения. Например, стойка с оборудованием способна за 20-30 минут прогреть достаточно большую по объему камеру с 18 до 35 градусов, и потому неправильная организация вентиляционной системы в безэховой радиочастотной камере может привести к пожару или непригодным для работы условиям внутри помещения.

По самым жестким военным стандартам ЭМС в безэховой камере тестируется оборудование от десятков килогерц до десятков гигагерц. Здесь в первую очередь важна не только частота, но и мощность воздействия (Вт) на оборудование различного класса для космоса, авиации, радиолокации, которое работает на разных частотах. Рабочая частота тестирования определяет длину волны, а длина волны в свою очередь влияет на расстояние передачи до объекта. 40 ГГц – стандартная величина, до которой обеспечивается экранировка в камере. Экранировка выше достигается благодаря специальным радиопоглощающим материалам, потому что сигнал с частотой более 40 ГГц может проходить сквозь корпус радиочастотной комнаты.

За подтверждением необходимости использования безэховых камер обратимся к авиационному стандарту КТ-160 – «Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования (внешние воздействующие факторы). Требования, нормы и методы испытаний». В этом стандарте прописано, что бортовое оборудование должно

испытываться на воздействие нестабильности и помех, возникающих в цепях питания, на ЭМС, на воздействие электростатических и молниевых разрядов. Создать электромагнитное поле с высокой напряженностью можно лишь в замкнутом пространстве. Безэховая камера позволяет испытать оборудование на ЭМС, смоделировать экстремальные ситуации, когда возникает большая напряженность поля рядом с испытуемым объектом – бортовым или пилотируемым оборудованием. Это убедительно подтверждает актуальность использования безэховых камер в эпоху радиочастотного оружия. Ведь если, к примеру, самолет подвергнется воздействию мощного электромагнитного импульса, посланного противником, возникнет риск выхода из строя бортового оборудования из-за разрушительной помехи, что, в свою очередь, чревато потерей управления и крушением летательного аппарата.

Основу реверберационных радиочастотных камер также составляет экранированное помещение неправильной геометрической формы. Современные реверберационные камеры могут изменять геометрию рабочего пространства за счет тюнеров – специальных поворотных устройств с металлическими пластинами, выстраивающих электромагнитное поле таким образом, чтобы сфокусировать энергию в нужной точке.

Реверберационные камеры являются одним из инструментов испытаний на ЭМС. Если в безэховых камерах основной принцип – это поглощение того



Коммерческий испытательный центр ЭМС за рубежом

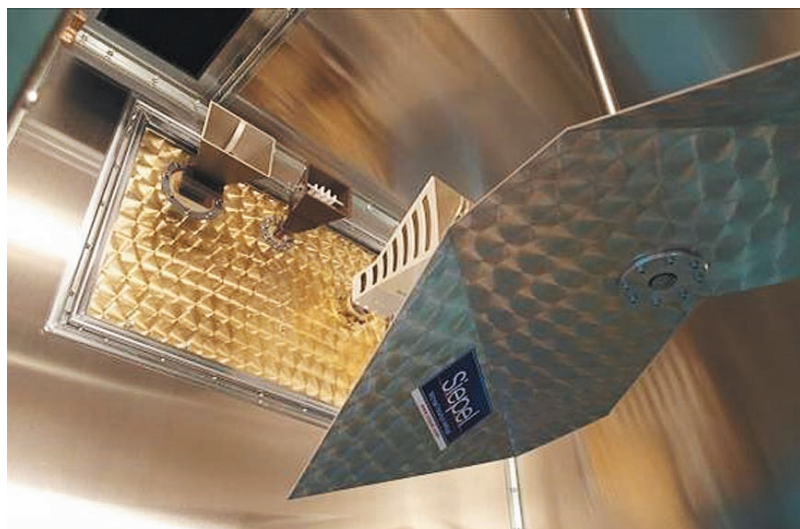
или иного вида колебаний, то в реверберационных камерах, напротив, обеспечивается жесткая среда воздействия, где полностью отсутствует поглощение и нет стоячих волн, которые, в свою очередь, могут снизить уровень напряженности. В реверберационной камере нет радиопоглощающего материала и задача этой камеры – в первую очередь увеличивать воздействие за счет многократного переотражения, благодаря чему появляется возможность создать сильное электромагнитное поле меньшим ресурсом оборудования, меньшей мощностью. В безэховых камерах используются мощные твердотельные усилители или усилители на лампах бегущей волны. Эти устройства в основном производятся по лицензии США, и

сегодня их поставки прекращены из-за санкций. Производимые в России их аналоги полностью не покрывают их дефицита, а главная проблема в том, что в нашей стране пока нет полного спектра оборудования для безэховых камер, соответствующего всем современным стандартам. В данной ситуации реверберационная камера может стать доступной альтернативой безэховой в конкретном направлении – испытании на ЭМС и помехоустойчивости.

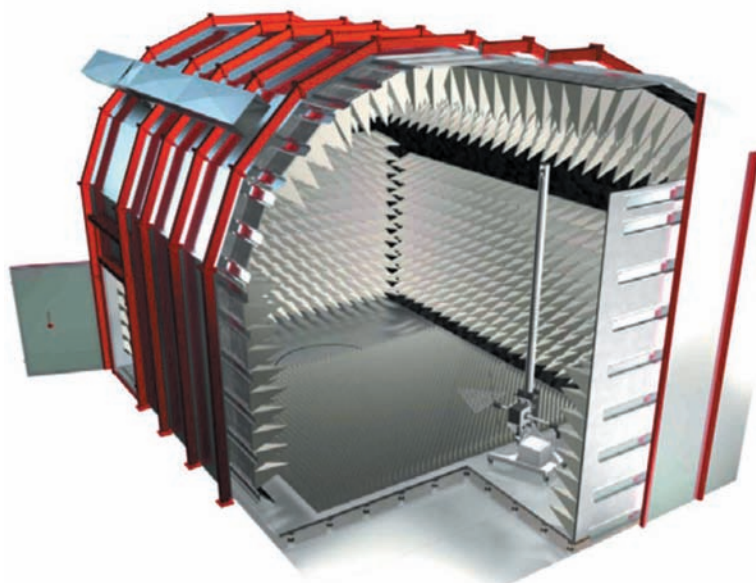
Однако следует иметь в виду, что у реверберационной камеры много недостатков в плане настройки. Эту камеру нужно обязательно калибровать, особенно если требуется использовать ее в качестве аттестующего оборудования. Реверберационное помещение должно стабильно выдавать то усиление, ту мощность, которую мы от нее ожидаем.

В строительстве радиочастотных экранированных безэховых и реверберационных камер одним из самых важных аспектов является подборка дверей. В их торцах есть механизмы, сделанные из меди, бериллия, бронзы. Именно эти дверные механизмы в правильной компоновке с радиопоглощающим материалом по периметру двери дают экранировку и хорошие результаты по радиопоглощению. Пока что в импортозамещении этих механизмов у нас не очень преуспели и потому нередко примеры, когда конструкцию камер сваривают в России, а двери заказывают за рубежом.

Пожалуй, самым трудоемким и сложным процессом является процесс создания безэховой камеры для ан-



Реверберационная камера КТ-160



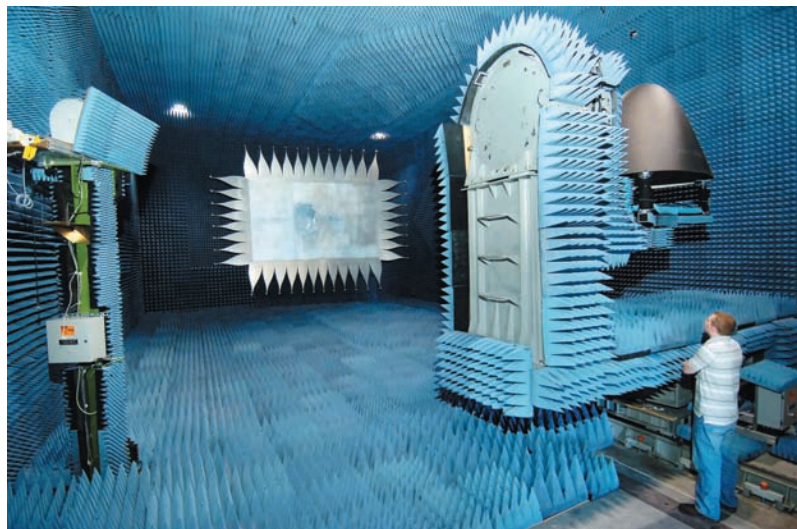
Полубезэховая камера Frankonia с купольной крышей

тенных измерений. Для такого типа измерений не требуется слишком высокого уровня ослабления сигнала, которые обеспечивают современные экранированные камеры, однако основной проблемой является организация измерений для различного типа антенн. К примеру, наши заказчики, как правило, просят предоставить возможность измерять в одной безэховой камере антенные устройства с совершенно разными массо-габаритными и частотными параметрами в ограниченном по размеру помещении. При этом необходимо учитывать все требования ГОСТов, а также условия, которые ставит перед заказчиком его непосредственный потребитель. Как известно, антенны измеряются в ближней и дальней зонах. В соответствии с формулами, по которым рассчитываются условия дальней зоны, антенну следует измерять, к примеру, на полигоне на расстоянии 100-300 метров. Для крупногабаритных антенн организовать полноценную дальнюю зону не всегда возможно при требованиях защиты информации, т.к. для таких антенн требуется внушительная по размерам экранированная камера. При том, что у нас имеются камеры длиной в 90 метров, сегодня не всегда можно найти полигон, это будет стоить огромных денег и проводить там испытания один раз в год – дорогое удовольствие. Проблема решается путем использования так называемых коллиматорных комплексов. Они представ-

ляют собой параболическую отражающую поверхность, направленную на испытуемый объект, сам объект при этом размещается в устройстве позиционирования. Т.е. для измеряемой антенны важно, в какой плоскости она находится. Коллиматор с помощью опорных антенн и физики процесса распределения радиозлектронного сигнала позволяет полностью имитировать дальнюю зону. Благодаря этому размеры испытательной камеры сокращаются на 95%. Также есть понятие ближней зоны, когда измерения характеристик проводятся в непосредственной близости от тестируемой антенны на расстоянии,

зависящем от длины волны и размеров испытуемого устройства. Надо понимать, что при измерении в ближней зоне (зона Френеля) мы получаем значения сферической волны, которую мы с помощью специальных алгоритмов пересчитываем в показания дальней зоны (зона Франгофера). Как правило, это подходит для крупногабаритных антенн с большой апертурой и низкой частотой. На практике возможно комбинирование ближней и дальней зон с помощью подвижных слайдеров. Комбинация ближней и дальней зон в безэховой камере дает широкие возможности по испытанию антенн разного типа.

А теперь поговорим об акустических камерах. Акустическая камера – такая же замкнутая среда, которая обеспечивает безэховость в определенном пространстве. При кажущейся схожести с радиочастотными испытательными комнатами акустические камеры имеют ряд принципиальных отличий. Объектом испытания и измерения становится звуковая волна. Частота звукового сигнала нормируется от 2-3 Гц до 20 кГц, в этом диапазоне частот совершенно другие законы, другая физика. Если для электромагнитной безэховой камеры по большому счету не важно, какая внутри температура, то, для акустической комнаты внешние и внутренние факторы имеют значение, ведь температура, влажность влияют на скорость распространения звуковой волны. Камера для акустических измерений устанавливается на виброразвязанном фундамен-

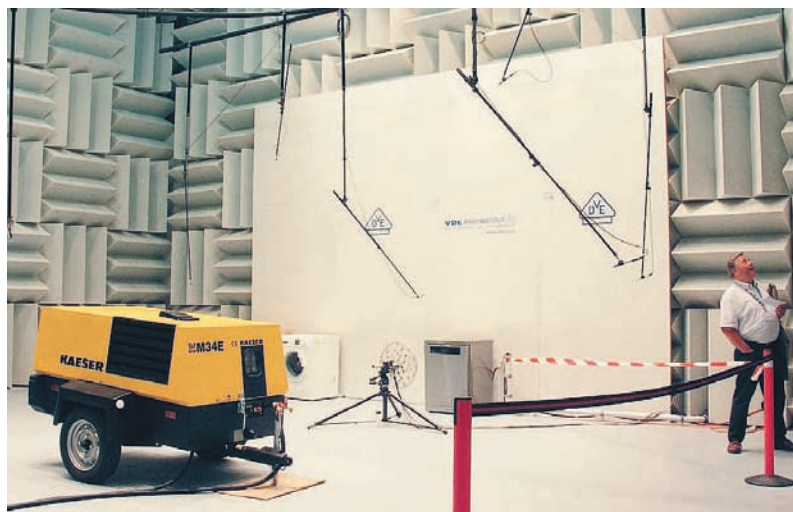


Полностью безэховая камера для антенных измерений

те, чтобы шум от основного производства и окружающей среды не создавал помех при измерениях.

Прежде чем устанавливать беззвучную акустическую камеру на предприятии, важно оценить обстановку вокруг, для начала следует измерить место для будущей комнаты классическим шумомером. Стоимость акустической камеры зависит напрямую от уровня и мощности звука вокруг. Если рядом, к примеру, проходит оживленная трасса, или расположен шумный цех, то мощность звука возрастает и требуется обеспечить дополнительную защиту. Надежнее всего от проникновения звука внутрь рабочего пространства камеры защищает воздух между двойными стенами заглушенного помещения. Самым лучшим решением нашего индустриального партнера — компании «IAC Acoustics» стало создание двойной стенки. Стенки акустической камеры покрываются звукопоглощающим материалом, а также отступают друг от друга на небольшое расстояние, образуя воздушную прослойку, получается своего рода «воздушный сэндвич». «IAC Acoustics» делали и тройной воздушный сэндвич, они ухитрялись добавлять в свою камеру еще и экранировку, чтобы сохранить тот или иной объект от электромагнитного воздействия внутри или снаружи. Такие сложные многокомпонентные камеры, как правило, используются в медицине, для испытания рентгеновского оборудования.

Подобрать звукопоглощающий материал для акустической камеры — непростая задача. По своим свойствам и характеристикам он принципиально отлича-



Полубеззвучная акустическая камера IAC Acoustics для измерения шума компрессоров и бытового оборудования

ется от радиопоглощающего материала. Долгое время в акустических камерах применялись стекловолокно, шерсть, войлок, пена. Все эти материалы быстро изнашиваются под воздействием температуры, влажности и времени. Например, пена высыхает и осыпается, шерсть часто меняет форму, и мы получаем иные характеристики, весьма далекие от аттестованных. Инженеры «IAC Acoustics» разработали клиновидные поглотители, в которых наполнителем является особо прочное стекловолокно. Оно устанавливается внутри металлического перфорированного короба, перфорация которого выполнена по всей поверхности клиновидных выступов. Длина и угол клина вычисляются исходя из частоты исследуемого сигнала. Чем ниже

частота, тем длиннее клин. При частоте 25 Гц клин будет равен 3 метрам. Такая конструкция характерна для беззвучных акустических камер. Безусловно, при такой геометрии теряется полезная площадь камеры, но точность испытаний повышается в разы. Клиновидные поглотители используют для высокоточных методов измерения и настройки, например, звукового оборудования — колонок, микрофонов, устройств, имитирующих человеческое ухо. Есть и более компактные плоские поглотители они дают неплохие результаты и используются для других стандартов в полубеззвучных акустических камерах. В поточном, серийном производстве целесообразно использовать плоские поглотители, пусть они работают в более узком диапазоне частот, но зато помогают экономить площадь и цену. Металлический перфорированный короб с особо прочным стекловолокном увеличивает выносливость звуковых поглотителей, по сути, они не деформируются под действием звуковых волн, температуры и влажности. Все это позволяет проводить испытания без дополнительных вложений в обновления и калибровку. Стоит отметить, что полы в беззвучных акустических камерах также покрываются клиновидными поглотителями, испытываемые приборы крепятся на специальных кронштейнах, либо на фальш-покрытии. Как правило, роль ложного пола выполняет металлическая решетка.

«Остек-Электро» и «IAC Acoustics» занимаются, помимо прочего, переоснащением и восстановлением старых беззвучных камер. Не так давно наш



Пример плоского поглотителя IAC Acoustics



Ревверберационная акустическая камера

индустриальный партнер модернизировал безэховую акустическую камеру для компании «Volvo». Благодаря новой технологии звукопоглощающий материал не будет изнашиваться. И в то же время всегда проще построить камеру с нуля, нежели ее реконструировать, ведь помимо необходимости решать проблемы закупок современных звукопоглотителей, испытательного и измерительного оборудования в этом случае зачастую приходится сталкиваться с рядом застарелых трудностей, таких, как не лучший выбор места для безэховой камеры и старые коммуникации.

Ревверберационная акустическая камера по аналогии с радиочастотной не поглощает, а наоборот – отражает волны, только не электромагнитные, а звуковые. Все зависит от уровня звукового давления, который требуется получить, если это порядка 130-150 дБ, то здесь можно использовать модульные акустические конструкции с двойными-тройными стенками, но принципиальная разница в том, что пространство внутри по всему периметру камеры должно быть покрыто МДФ толщиной порядка 40 мм. При этом МДФ обработан специальным лакокрасочным покрытием, чтобы в материале не оставалось микропор, поглощающих звук. Обязательное условие: камера должна быть неправильной формы.

В современных разработках акустических камер, так же, как и в электромагнитных, предусматриваются вращающиеся механизмы, чтобы изменять геометрию камеры. Но для испытаний неболь-

ших устройств гораздо проще и дешевле сделать камеру неправильной формы без подвижных элементов. Источники звука в акустических камерах – мощные, работающие в широком диапазоне частот динамики. Кроме системы динамиков, внутри камеры также устанавливаются микрофон и анализатор звукового спектра.

Самая большая проблема для акустических безэховых камер – нерав-

номерное распространение звука. Чтобы этого избежать, нужно тщательно рассчитать расположение клиновидных поглотителей и микрофонов и тем самым создать свободное звуковое поле.

Поразительный проект акустической камеры создан в NASA. Камера предназначена для испытания модуля ракеты и двигателя. Внешне она представляет собой огромное здание с очень толстыми бетонными стенами, в которые встраивается множество разноразмерных рупоров. Диаметр рупоров обратно пропорционален частоте. Чем выше частота, тем меньше рупор, чем частота ниже, тем рупор больше, на частоту в 20 Гц диаметр рупора достигает порядка 2,5 метра. Огромное число рупоров необходимо, чтобы создать звуковое давление до 170-175 дБ, это имитация шума взлета ракеты. Чтобы создать такую звуковую мощность и заставить ее стабильно работать на протяжении длительного времени – от 30 минут до 8 часов, необходимы компрессоры, способные прогонять 1000 литров воздуха в секунду.

Акустические безэховые камеры используются в оборонке и в медицине. На их основе создаются переговорные, конференц-залы, студии зву-



Акустическая безэховая камера IAC Acoustics для измерений двигателя Porsche

козаписи. Применение безэховых акустических камер широко распространено в европейских странах. С помощью акустических камер проводятся испытания всех деталей и систем автомобиля, которые воздействуют своим звуком на человека и окружающее пространство. Также безэховые акустические камеры используются при производстве оргтехники, компрессорных установок, вентиляторов, двигателей, бытовой техники, насосов, дизель-генераторов, промышленного оборудования. Акустическая камера позволяет услышать очень низкий уровень звука, который в обычном режиме человек не способен уловить. Точная аппаратура позволяет уловить крайне низкие уровни шума и «сверчки» и тем самым оценить качество собранной продукции, обнаружить механические люфты. Акустические безэховые камеры применяются и при испытании авиационных шлемов с использованием имитаторов головы и торса человека.

Одним из самых весомых сегментов рынка для производителей как акустических, так и электромагнитных камер является автомобилестроение. В современных автомобилях используется огромное количество электронных компонентов, взаимодействующих между собой. При этом актуальны вопросы о степени их воздействия на организм человека, а также о возможности или невозможности их одновременной работы. И, чтобы эти узлы могли работать вместе и не действовать друг на друга разрушительно, проводится огромное количество тестов на электромагнитную совместимость. Двигатели автомобилей, вентиляторы, системы охлаждения, кондиционеры – все это тестируется в акустических камерах. Львиная доля клиентов наших вендоров по всем странам – это производители автобусов, легковых автомобилей, мотоциклов, катеров. Лидеры премиум-рынка – Porsche, BMW – имеют у себя как безэховые акустические, так и безэховые радиочастотные камеры для измерения ЭМС.

Несколько слов о влиянии радиочастотных и звуковых волн на здоровье людей. По большому счету любая частота может оказать вредное воздействие на организм. В нормативных актах по охране труда расписаны предельно допустимые уровни воздействия. Вол-



IAC Acoustics Volvo после модернизации

ны воздействуют в любом диапазоне частот, самое важное – какова мощность этого излучения, насколько она велика: насколько громко в дБ и насколько мощно действует электромагнитное поле в Вт. Покрытие цехов предприятий звукопоглощающим материалом помогает снизить количество акустических воздействий на работников. Однако даже в развитых экономиках богатых стран владельцы и топ-менеджеры компаний идут на эти затраты крайне редко – это ведь некупаемые вложения...

За последние 5-7 лет действительно вырос интерес к испытаниям в безэховых камерах. Прежде всего потому, что теперь есть что в них испытывать: развивается оборонка и космические технологии, это стимулировало увеличение потребности в диагностическом и испытательном оборудовании. Акустическими и радиочастотными помещениями пользуются преимущественно предприятия отечественного ВПК.

Однако не все безэховые камеры соответствуют новым международным или хотя бы старым советским и российским стандартам. Где-то не хватает оборудования, чтобы обеспечить полное соответствие продукции ГОСТу. Где-то работают старые неоткалиброванные камеры, где-то используют нератифицированный стандарт. В ГОСТах прописано, какой методикой

нужно испытывать в безэховых акустических и радиолокационных камерах тот или иной объект. Проблема в том, что эти требования далеко не всегда совпадают с международными стандартами тестирования.

Установить на предприятии безэховую камеру – недешевое удовольствие. Поэтому многие компании кооперируются и организуют совместные испытательные центры. Эти испытательные центры выдают сертификаты соответствия протестированного оборудования тому или иному стандарту. За услуги по выдаче сертификатов или за аренду оборудования можно получать неплохие деньги. В Москве и Петербурге есть достаточное количество хорошо оснащенных центров, позволяющих проводить целый комплекс испытаний. Но вот в регионах картина иная: там испытательных центров почти нет. И именно в регионах нужно строить комплексы по радиоэлектронным и акустическим испытаниям, своего рода «безэховые центры компетенций». С учетом курсовой разницы и не критичного технологического отставания российские центры смогут привлекать иностранные компании. Нынешним положением должны активнее пользоваться предприятия ВПК, ведь оказание сторонним компаниям услуг по испытаниям в безэховых камерах поможет стать им более рентабельными. ■