

А.А. Беляев¹, Е.Е. Беспалова¹, А.М. Романов¹

ПОЖАРОБЕЗОПАСНЫЕ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕЗЭХОВЫХ КАМЕР

Описаны пожаробезопасные радиопоглощающие материалы для безэховых камер на основе асбеста.

Ключевые слова: *радиопоглощающий материал, безэховая камера.*

A.A. Belyaev¹, E.E. Besspalova¹, A.M. Romanov¹

FIRE-SAFETY RADIO-ABSORBING MATERIALS FOR ECHO-FREE CHAMBERS

The fire-safety radio-absorbing materials used for the echo-free chambers based on asbestos are described in the present paper.

Keywords: *radio-absorbing material, echo-free chamber.*

¹ Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

Одной из неотъемлемых частей современной техники является ее насыщенность электрическим, электронным и радиоэлектронным оборудованием, создающим в большей или меньшей степени различные электромагнитные помехи. В соответствии с директивой Совета ЕС (89/336/ЕЕС) к настоящему времени были приняты нормативные документы в области электромагнитной совместимости (ЭМС) (стандарты EN, ETSI), развита современная испытательная база, введена и осуществляется сертификация технических средств различного назначения на соответствие требованиям ЭМС. Одним из необходимых элементов испытательной базы являются безэховые камеры [1], для которых необходимы радиопоглощающие материалы.

Плохие метеоусловия затрудняют радиотехнические измерения на полигонах и часто делают их невозможными, в связи с этим измерения чаще проводят в закрытых помещениях. Однако в закрытых помещениях появляются нежелательные электромагнитные поля, отраженные от внутренней поверхности помещения (стены, пол, потолок). Для уменьшения нежелательных электромагнитных полей внутреннюю поверхность помещения покрывают радиопоглощающим материалом (РПМ). Такие помещения называют безэховыми камерами (БЭК).

Безэховые камеры (БЭК) особенно широко стали использоваться в последние десятилетия. С одной стороны, это связано с тенденцией усложнения и повышения точности антенных измерений и стендовых испытаний радиокомплексов. С другой стороны, широкому внедрению БЭК в технику испытаний, безусловно, способствовала разработка новых широкополосных радиопоглощающих материалов и поглотителей электромагнитных волн, а также теории и методов проектирования безэховых камер. Под радиопоглощающими материалами (РПМ) обычно понимают неметаллические материалы, обеспечивающие поглощение электромагнитного излучения радиочастотного диапазона (обычно – от 0,5 до 40 ГГц) при минимальном его отражении. При распространении в среде этих материалов часть электромагнитной энергии преобразуется в тепловую. Основу радиопоглощающих материалов составляют органические или неорганические (главным образом – оксиды и нитриды) вещества, в которые в качестве активного поглощающего компонента вводят порошки графита, карбидов, углеродсодер-

жащие волокна [2], ферромагнитные порошки. Перспективным является применение в качестве поглощающих компонентов углеродных наночастиц и нанотрубок [3, 4]. Применение неорганического волокна в качестве основы РПМ, особенно кварцевого волокна [5], имеющего низкую диэлектрическую проницаемость, позволяет уменьшить относительную диэлектрическую проницаемость ненаполненных слоев градиентного РПМ до величины 1,06–1,08, при этом коэффициент отражения на границе раздела свободного пространства с материалом основы при нормальном падении на поверхность не превысит -34 дБ. Последнее обстоятельство позволяет создавать плоскостойкие материалы на основе вспененного неорганического волокна с коэффициентом отражения не более -30 дБ.

Асбест – собирательное название группы тонковолокнистых минералов из класса силикатов. В природе это агрегаты, состоящие из тончайших гибких волокон, применяются в самых различных областях, например в строительстве, автомобильной промышленности и ракетостроении. Существует два основных типа асбестов – серпентин-асбесты (хризотил-асбест, или белый асбест) и амфибол-асбесты. Хризотил-асбест ($3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) – гидросиликат магния, структурно относится к слоистым силикатам. Из-за несоответствия тетраэдрического и октаэдрического слоев в структуре серпентина возникают напряжения, которые компенсируются за счет изгиба, что обычно приводит к их «гофрировке», однако в случае хризотила направленность изгиба сохраняется и такие слои закручиваются в трубочки с внешним диаметром ~20 нм. Хризотил-асбест стоек к щелочным средам, разлагается в кислотах с образованием аморфного кремнезема – это основной на сегодня вид асбеста, применяемый в промышленности. Используется для производства огнеупорных тканей (в том числе для пошива костюмов пожарных), в строительстве в составе асбесто-цементных смесей для производства труб и шифера.

Асбест обладает высокой огнестойкостью, поэтому применяется в составах и композициях, где необходимо сочетание гибкости и термостойкости. С учетом огнестойкости асбеста и особенности его волокон, позволяющих практически отказаться от связующих, асбест наиболее перспективный материал для пожаробезопасных РПМ.

С учетом разнообразия исследуемой аппаратуры для облицовки внутренних поверхностей безэховых камер применяют широкополосные радиопоглощающие материалы, например градиентные РПМ – многослойные структуры с плавным или ступенчатым изменением по толщине комплексной диэлектрической (или магнитной) проницаемости, где увеличение тангенса угла диэлектрических потерь стремятся обеспечить в направлении к задней границе поверхности (металлу). Этот тип РПМ технологически наиболее сложен в изготовлении. Основным принципом устройства градиентных РПМ является «мягкий» вход, т. е. РПМ должен быть согласован со свободным пространством. Плотность таких РПМ вблизи его поверхности должна быть близкой к плотности воздуха. Плотность материала и концентрация поглотителя возрастают по глубине РПМ для того, чтобы поглощались радиоволны, проникающие в него. К РПМ для безэховых камер не предъявляются жесткие требования по прочностным характеристикам и противодействию климатическим факторам. Но в связи с тем, что БЭК представляет собой замкнутое пространство, к материалам для нее предъявляют повышенные требования по пожарной безопасности.

Радиопоглощающие материалы для безэховой камеры должны быть негорючими или самозатухающими, не выделять при эксплуатации и горении вредных веществ. Так как в безэховой камере РПМ эффективно поглощает радиоволны, на поверхности РПМ выделяется много энергии, превращающейся в тепло, и покрытие может нагреться до температуры возгорания. Это представляет особую опасность при испытаниях мощных излучателей. Даже современные маломощные излучатели могут создавать остронаправленные потоки энергии (радиоволны), которые способны вызвать локальный пере-

грев поглотителя. В связи с повышенными требованиями по пожарной безопасности были разработаны РПМ на основе неорганического волокна: материалы на основе асбеста без защитной пленки – негорючие, с защитной пленкой и на основе базальта и стекловолокна – самозатухающие (см. таблицу).

Радиопоглощающие материалы для безэховых камер

Показатели	Значения показателей для радиопоглощающих материалов		
	ВРБ-2*	ВРБ-3	ВРБ-3-80
Диапазон частот, МГц	От 25 до 37500	От 1000 до 37500	От 60000 до 100000
Коэффициент отражения по мощности, дБ (не более), на частоте, МГц:			
1000	-18	-18	–
3000	-25	-25	–
10000	-30	-30	-8
37500	-35	-35	–
60000	–	–	-24
100000	–	–	-28
Толщина, мм:			
– без подложки из спеченного феррита	330±5	215±5	39±3
– с подложкой	336,7±5	–	–
Масса 1 м ² , кг (не более):			
– без ферритовой подложки	13	8	1
– с подложкой	45	–	–

* Коэффициент отражения в диапазоне от 25 до 1000 МГц составляет не более -15 дБ и обеспечивается ферритовой подложкой.

Видно, что разработанные РПМ обеспечивают величину коэффициента отражения не более -25 дБ (при частоте >3 ГГц) в весьма широком диапазоне частот. При этом изготовление их в виде плоско-слоистых геометрически однородных по площади конструкций позволяет применять несложную технологию производства и управлять направлением отраженной волны (степенью безэховости) путем изменения конфигурации стен безэховой камеры. Это обстоятельство делает их конкурентоспособными по сравнению с шиповидными РПМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мицмахер М.Ю., Торгованов В.А. Безэховые камеры СВЧ. М.: Радио и связь. 1982. 129 с.
2. Конкин А.А. Углеродные и другие жаростойкие волокнистые материалы. М. 1974.
3. Гуняев Г.М., Каблов Е.Н., Алексахин В.М. Модифицирование конструкционных углепластиков углеродными наночастицами // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 5–11.
4. Акатенков Р.В., Аношкин И.В., Беляев А.А., Битт В.В. и др. Влияние структурной организации углеродных нанотрубок на радиоэкранирующие и электропроводящие свойства нанокомпозитов // Авиационные материалы и технологии. 2011. №1. С. 35–37.
5. Гращенков Д.В., Щетанов Б.В., Тинякова Е.В., Щеглова Т.М. О возможности использования кварцевого волокна в качестве связующего при получении легковесного теплозащитного материала на основе волокон Al₂O₃ // Авиационные материалы и технологии. 2011. №4. С. 8–14.

REFERENS LIST

1. Micmaher M.Ju., Torgovanov V.A. Bezehovye kamery SVCh [Microwave ovens anechoic chambers]. M.: Radio i svjaz'. 1982. 129 s.
2. Konkin A.A. Uglerodnye i drugie zharostojkie voloknistye materialy [Carbon and other heat-resistant fibrous materials]. M. 1974.

3. Gunjaev G.M., Kablov E.N., Aleksashin V.M. Modificirovanie konstrukcionnyh ugleplastikov uglerodnymi nanochasticami [Modifying of constructional coal plastics by carbon nanoparticles] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 5–11.
4. Akatenkov R.V., Anoshkin I.V., Beljaev A.A., Bitt V.V. i dr. Vlijanie strukturnoj organizacii uglerodnyh nanotrubok na radiojekranirujushhie i jelektroprovodjashhie svojstva nanokompozitov [Influence of the structural organization of carbon nanotubes on radio shielding and electroconductive properties of nanocomposites] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №1. S. 35–37.
5. Grashhenkov D.V., Shhetanov B.V., Tinjakova E.V., Shheglova T.M. O vozmozhnosti ispol'zovanija kvarcevogo volokna v kachestve svjazujushhego pri poluchenii legkovesnogo teplozashhitnogo materiala na osnove volokon Al_2O_3 [About possibility of use of quartz fiber as a lightweight heat-shielding material binding at receiving on the basis of Al_2O_3 fibers] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №4. S. 8–14.