



Конструкционные материалы для обеспечения электромагнитной совместимости радиоаппаратуры

Д. Гришин, И. Гусев
АО «ТЕСТПРИБОР», Москва, Россия

Электромагнитное экранирование – широко распространенный метод обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоаппаратуры. Эффективность экранирования и надежность функционирования аппаратуры во многом определяются конструкцией экранов, а также характеристиками и свойствами материалов, используемых для их изготовления. В статье рассмотрены основные конструкционные материалы, применяемые для электромагнитного экранирования, такие как прокладки, контактные пружины, ткани, термоусадочные трубки, поглотители ВЧ-излучения с клеевым слоем. Описана методика подтверждения характеристик экранирующих материалов в лаборатории ЭМС АО «ТЕСТПРИБОР».

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, электромагнитное экранирование, поглотители электромагнитных волн

Статья поступила: 07.04.2023

Статья принята: 25.04.2023

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире электроника и вычислительная техника занимают особое место во многих сферах деятельности человека. Однако совместное использование различных электронных устройств может приводить к возникновению нежелательных электромагнитных взаимодействий, кото-

Construction Materials to Ensure the Electromagnetic Compatibility of Radio Equipment

D. Grishin, I. Gusev,
TESTPRIBOR JSC, Moscow, Russia

Electromagnetic shielding is a widely used method for ensuring the electromagnetic compatibility (EMC) of radio equipment. The screening efficiency and operational reliability of the equipment are largely determined by the shield design, as well as the specifications and properties of the materials used for its manufacture. The article discusses the main construction materials used for electromagnetic shielding, such as the gaskets, contact springs, fabrics, heat shrink tubes, and RF absorbers with an adhesive layer. The method for confirming the specifications of shielding materials in the EMC laboratory of TESTPRIBOR JSC is described.

Keywords: electromagnetic compatibility, electromagnetic wave absorbers

The article received on: 07.04.2023

The article accepted on: 25.04.2023

INTRODUCTION

In the modern world, electronics and computer technology hold a specific place in many areas of human activities. However, the shared use of various electronic devices may result in unwanted electromagnetic interactions that may adversely affect the operation of such devices. One of the ways to solve such problems is to ensure electromagnetic compatibility [1].

Electromagnetic compatibility (EMC) is determined as the ability of an electronic system to function in the midst of other systems without any major impact on them. This means that the equipment intended for use in various electronic systems must comply with the certain EMC standards in order to be

рые могут негативно сказаться на работе этих устройств. Одним из способов решения таких проблем является обеспечение электромагнитной совместимости [1].

Электромагнитная совместимость (ЭМС) определяется как способность электронной системы функционировать в окружении других систем без значительного воздействия на них. Это означает, что оборудование, предназначенное для использования в различных электронных системах, должно соответствовать определенным стандартам ЭМС, чтобы обеспечить возможность безопасного и надежного функционирования в различных условиях эксплуатации.

Так, например, современные медицинские приборы, осуществляющие диагностику и лечение пациентов, включают в себя множество компонентов и электроприборов. Взаимодействие всех этих компонентов может вызывать нежелательные электромагнитные волны, что приводит к сбоям в работе устройства, возможно, даже его разрушению [2].

С расширением количества устройств, работающих в электромагнитном спектре, ученые и инженеры находят новые решения проблемы ЭМС. Основным методом обеспечения электромагнитной совместимости в части устойчивости к воздействию электромагнитных полей, а также соответствия требованиям к уровню излучаемых помех является электромагнитное экранирование [3]. Установка экранов на помехоизлучающие элементы обеспечивает разделение сигналов, необходимое для функционирования радиоэлектронной аппаратуры, повышает избирательность приемников, помехозащищенность чувствительной аппаратуры, чистоту сигнала генераторов, точность работы приборов. Правильный выбор метода экранирования, материала экрана и его конструкции очень важны именно на начальном этапе проектирования, поскольку он будет определять возможность успешного прохождения испытаний на ЭМС и надежного функционирования разрабатываемой аппаратуры.

В настоящее время промышленность выпускает огромное разнообразие материалов для обеспечения ЭМС. Это конструкционные материалы, предназначенные для улучшения экранирования, поглотители электромагнитных волн, а также ЭРИ: дроссели, специальные фильтры и полупроводниковые приборы.

В данной статье подробнее рассмотрим конструкционные материалы, к которым относятся прокладки, контактные пружины, ткани,

operated safely and reliably under various operating conditions.

For example, the up-to-date medical devices used for the patient diagnostics and treatment include many components and electrical appliances. The interaction of all these components can cause unwanted electromagnetic waves that leads to the device malfunctions, and even its destruction [2].

As the number of devices working in the electromagnetic spectrum is expanded, the scientists and engineers are finding new solutions to the EMC problem. The main method for ensuring electromagnetic compatibility in terms of electromagnetic field immunity, as well as compliance with the requirements for the radiated disturbance level, is electromagnetic shielding. Installation of the shield on the noise-emitting elements ensures the separation of signals required for the operation of electronic equipment, increases the receivers' selectivity, interference immunity of the sensitive equipment, signal purity of the generators, and the device accuracy. The adequate choice of shielding method, shield material and design is very important at the initial design stage, since it will determine the possible successful passing the EMC tests and reliable operation of the developed equipment.

Currently, the industry produces a wide variety of EMC materials. These are the structural materials designed to improve shielding, electromagnetic wave adsorbers, as well as the electronic components: throttles, special filters and semiconductor devices.

In this article, we will take a closer look at the construction materials including the gaskets, contact springs, fabrics, compounds, ferrite products, as well as their combinations.

CONSTRUCTION MATERIALS

The contact springs (Fig. 1) are made of various alloys (beryllium copper, steel, monel, tinned copper) and are used to provide contact between two conductive surfaces. The springs are distinguished by a large number of compression cycles: more than 20 thousand without deterioration in the main specifications. The clamping pressure is approximately 800 g/cm. The shielding efficiency is highest in the frequency range from 100 MHz to 1 GHz and is decreased with the increasing frequency. By virtue of its design, the springs allow to obtain the running contact. The multipurpose mounting methods allow to have a running or pressure contact in any direction. One of several methods can be used

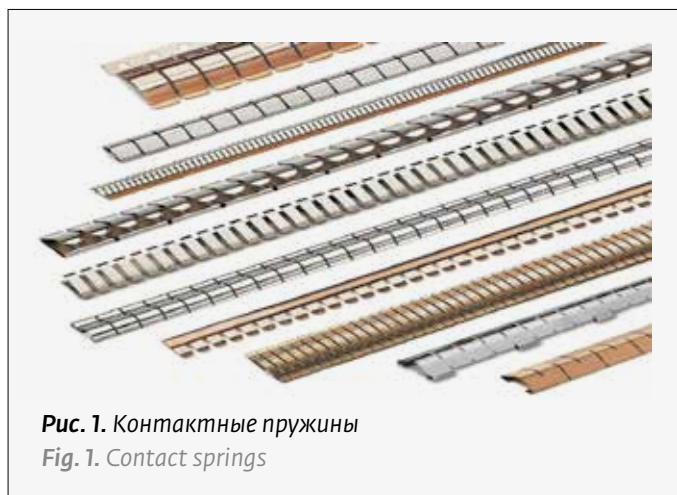


Рис. 1. Контактные пружины
Fig. 1. Contact springs

компаунды, ферритовые изделия, а также их комбинации.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Контактные пружины (рис. 1) изготавливают из различных сплавов (бериллиевая бронза, сталь, монель, луженая медь) и применяют для обеспечения контакта между двумя проводящими поверхностями. Пружины отличаются большим количеством циклов сжатия – более 20 тыс. без ухудшения основных характеристик. Усилие прижима около 800 г/см. Эффективность экранирования выше всего в диапазоне частот от 100 МГц до 1 ГГц и падает с ростом частоты. В силу своей конструкции пружины позволяют организовать скользящий контакт. Универсальные методы крепления позволяют организовать скользящий или прижимной контакт в любом направлении. Для крепления может использоваться один из нескольких методов: клепки, крепление к пазам, крепление с помощью клеевого слоя, крепление методом клипсы, монтаж с помощью приклеиваемой рейки, сварка, пайка. С помощью таких пружин организуются ножевые контакты, применяемые в дверях безэховых камер.

Прокладки из проволоочной сетки представляют собой сетку из стальной проволоки, скрученной в трубку или обернутую вокруг мягкой пористой резины (рис. 2). Применяются в основном при сборке высоконагруженных конструкций (БЭК). Между жгутами прокладки пропускается болт соединения и таким образом организуется непрерывный контакт вокруг соединения. Количество циклов сжатия – от 6 до 12 в год. Кроме того, выпускается лента из плетеного провода (рис. 3), которая позволяет экранировать кабельные сборки путем обмотки вокруг кабеля. Зафиксировать ее



Рис. 2. Прокладка из проволоочной сетки
Fig. 2. Wire mesh gasket

for fastening: riveting, fastening to the grooves, fastening with an adhesive layer, fastening with a clip method, mounting with a glued rail, welding, or soldering. Such springs are used to obtain the blade contacts applied in the doors of acoustic chambers.

The wire mesh gaskets are a mesh made of steel wire twisted into a tube or wrapped around the soft foam rubber (Fig. 2). They are mainly used in the assembly of high-load structures (acoustic chambers). An attachment bolt is placed between



Рис. 3. Лента из плетеного провода
Fig. 3. Braided wire tape



Рис. 4. Экранирующие прокладки из эластомера
Fig. 4. Shielding gaskets made of elastomer



Рис. 5. Спиральные трубки
Fig. 5. Spiral tubes

можно с помощью термоусадочной трубки или любым другим удобным способом.

Сегодня получили широкое распространение экранирующие прокладки из проводящей резины и эластомеров (рис. 4). Они популярны благодаря возможности обеспечить одновременно герметичность и электрический контакт. Они обладают высокой гибкостью, что позволяет укладывать их в пазы сложной формы, как, например, в СВЧ-корпусах. Кроме того, они удобны для поточного производства, поскольку могут быть сформированы из компаунда на автоматической линии.

Спиральные трубки (рис. 5) по функционалу подобны контактными пружинам, но их способ монтажа иной – они устанавливаются в паз и прижимаются сверху крышкой. Электрический контакт обеспечивается за счет упругости стали.

Наиболее популярны и удобны в использовании тканевые проводящие прокладки с упругим наполнителем и клеевым слоем (рис. 6). Они представляют собой вспененный полимер, покрытый проводящей тканью. Выпускаются различных форм и размеров, благодаря наличию проводящего клеевого слоя могут использоваться на неподготовленных корпусах при отсутствии пазов. Количество сжатий превышает 500 тыс. Тканевые проводящие прокладки имеют остаточную деформацию при превышении усилия и степени сжатия.

Экранирующая фольга применяется для экранирования магнитной и электрической составляющей электромагнитного поля, в зависимости от материала фольги (рис. 7). Выпускается в катушках с нанесенным клеевым слоем. Очень удобно экра-

the gasket harnesses, thus making a continuous contact around the connection. The number of compression cycles is from 6 to 12 per year. Moreover, the braided wire tape is also available (Fig. 3) that allows the cable assemblies to be shielded by wrapping around the cable. It can be fixed with a heat shrink tube or in any other convenient way.

Today, the shielding gaskets made of conductive rubber and elastomers (Fig. 4) are becoming widespread. They are popular due to the ability to provide both tightness and electrical contact. They are highly flexible that allows them to be



Рис. 6. Тканевые проводящие прокладки
Fig. 6. Fabric conductive gaskets



Рис. 7. Экранирующая фольга
Fig. 7. Shielding foil

нировать кабели, устранять щели в экранах. Коэффициент экранирования достигает 10.

Для экранирования прозрачных конструкций применяется экранирующая пленка с клеевым слоем. Коэффициент экранирования от 20 до 30 дБ. Также для решения этих задач применяются готовые экранированные стекла, получаемые спеканием двух стекол и проволоочной сетки между ними (рис. 8). Для крепления к внешнему экрану по краям такой конструкции оставляется юбка, шириной 10–50 мм для крепления к проводящей поверхности. При применении подобных конструкций всегда необходимо помнить, что чем выше коэффициент экранирования, тем ниже коэффициент светопропускания.

При необходимости заэкранировать кабельную сборку, обеспечив ей механическую защиту, удобно применять экранирующие термоусадочные трубки (рис. 9). Внутри такой трубки нанесен проводящий слой или сетка. При усадке трубка плотно облегает кабель, обеспечивая необходимую прочность и экранирование до 60 дБ на частоте 10 ГГц. Необходимо помнить, что для обеспечения заявленного коэффициента экранирования при заделке разъемов необходимо обеспечить электрический контакт по всему хвостовику разъема и его проводящего корпуса.

Особое место среди экранирующих материалов занимают поглотители высокочастотных излучений с клеевым слоем (рис. 10). Они применяются для обеспечения ЭМС внутри небольших корпусов. Как известно, в закрытом корпусе, состоящем из проводящих материалов, электромагнитные волны отражаются от проводящей поверхности. Многократные переотражения в небольшом замкнутом пространстве приводят к образованию



Рис. 8. Экранированное стекло
Fig. 8. Shielded glass

placed in the grooves with compound shape, as, for example, in the UHF housings. In addition, they are convenient for flow line production, as they can be made of the compound using an automatic line.



Рис. 9. Экранирующие термоусадочные трубки
Fig. 9. Shielding heat shrink tubes



Рис. 10. Поглотители ВЧ-излучения с клеевым слоем
Fig. 10. RF absorbers with an adhesive layer

стоячих волн, изменению полного комплексного сопротивления пространства над полоском и во многих случаях к отказу функционирования схемы, которая работала при открытой крышке. Для решения этой проблемы применяют поглотители с клеевым слоем. Их удобно наклеивать на крышку корпуса, обеспечивая поглощение до 10 дБ.

На рис. 11 представлена зависимость усиления от частоты для усилителя с автоматической регулировкой усиления. На графике видны броски коэффициента усиления из-за пространственных резонансов до применения поглотителя. После наклейки поглотителя характеристика становится гладкой, а усилитель с АРУ-пригодным для эксплуатации. Поглотители являются частотно-

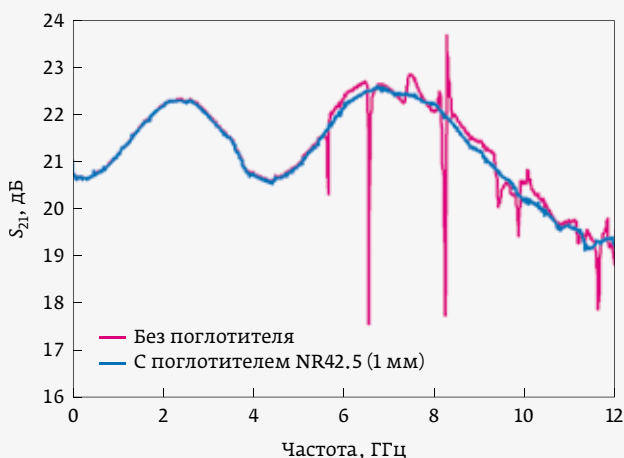


Рис. 11. Зависимость коэффициента усиления от частоты для усилителя с АРУ

Fig. 11. Gain dependence on frequency for an amplifier with AGC

The spiral tubes (Fig. 5) are similar in functionality to the contact springs, but their installation method is different: they are installed in a groove and pressed against the top by a cover. The electrical contact is provided by the steel elasticity.

The most popular and easy to use method provides for the fabric conductive gaskets with an elastic filler and an adhesive layer (Fig. 6). They are made of a foam polymer covered with a conductive fabric. Such gaskets are available in various shapes and sizes. Due to the available conductive adhesive layer, they can be used on the unprepared housings in the absence of grooves. The number of compressions exceeds 500 thousand times. The fabric conductive gaskets have permanent residual deformation when the force and compression ratio are exceeded.

The shielding foil is used to shield the magnetic and electrical components of the electromagnetic field, depending on the foil material (Fig. 7). This foil is provided in the coils with a coated adhesive layer. It is very convenient to shield the cables and eliminate the gaps in the shields. The shielding ratio reaches 10.

To shield the transparent structures, a shielding film with an adhesive layer is applied. Its shielding ratio is from 20 to 30 dB. Moreover, to solve these problems, the ready-made shielded glasses are used, obtained by sintering two glasses and a wire mesh between them (Fig. 8). For attachment to an external screen, a skirt is left along the edges of this structure with the width of 10-50 mm for fixing to a conductive surface. When using such structures, it is necessary to remember that the higher the shielding ratio, the lower the light transmission ratio.

If it is necessary to shield the cable assembly while providing it with the mechanical protection, it is convenient to use the shielding heat shrink tubes (Fig. 9). A conductive layer or mesh is deposited inside such a tube. During the shrinking process, the tube tightly fits the cable, providing the necessary strength and shielding up to 60 dB at a frequency of 10 GHz. It must be remembered that in order to ensure the declared shielding ratio, during the connector termination, it is necessary to ensure electrical contact along the entire strain relief and its conductive body.

A special place among the shielding materials is held by the high-frequency radiation absorbers with an adhesive layer (Fig. 10). They are used to provide EMC inside the small enclosures. As it is known, in an enclosed casing, consisting of conductive materials, the electromagnetic waves

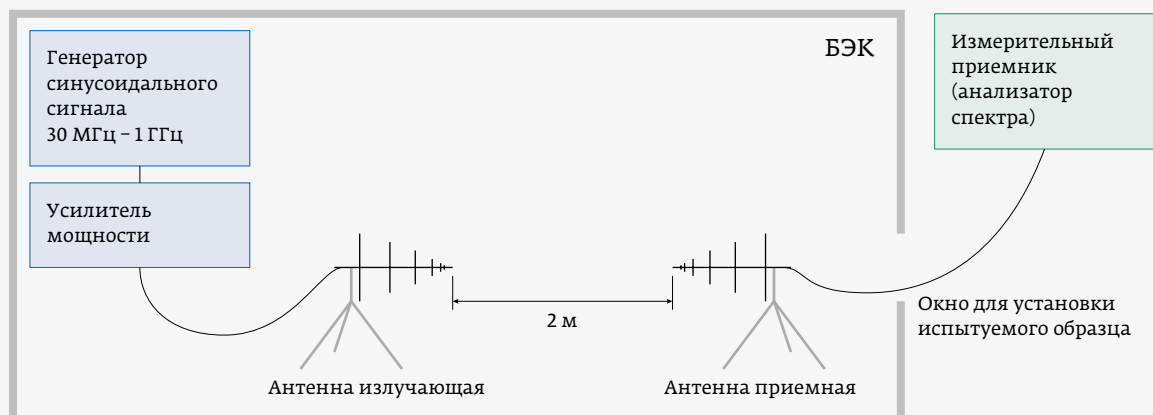


Рис. 12. Схема измерения коэффициента связи между антеннами
Fig. 12. Measuring diagram for the coupling ratio between the antennas

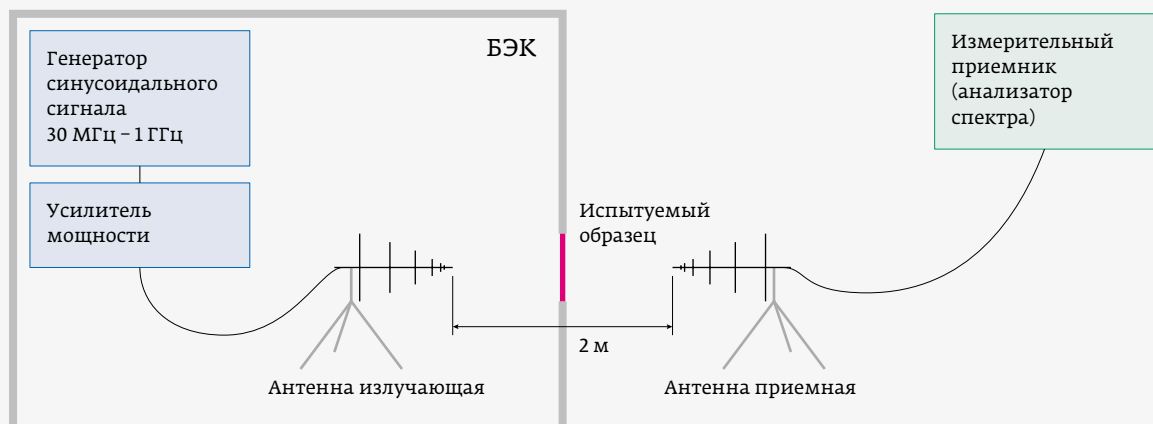


Рис. 13. Схема измерения коэффициента экранирования образцов материалов
Fig. 13. Measuring diagram for the shielding ratio of material samples

зависимыми материалами, что необходимо учитывать при их выборе.

Учитывая скорость появления новых материалов в промышленности, невозможно быть заранее знакомым со свойствами их всех, в связи с чем в лаборатории ЭМС АО «ТЕСТПРИБОР» разработали методику подтверждения некоторых характеристик экранирующих материалов. Метод основан на стандарте MIL-STD-285 [4]. Подтверждение коэффициента экранирования листовых материалов проводится следующим образом. Перед проведе-

are reflected from a conductive surface. Multiple re-reflections in a small confined space lead to the generation of standing waves, a change in the complex impedance of the space above the strip, and, in many cases, to the failure of the circuit that worked with the lid open. To solve this problem, the absorbers with an adhesive layer are applied. It is convenient to stick them on the housing cover, providing an absorption up to 10 dB.

Fig. 11 shows the gain dependence on frequency for an amplifier with automatic gain control. The

нием измерений выполняется калибровка измерительной системы. В безэховой камере устанавливаются друг напротив друга, соосно, приемная и измерительная антенны с известными характеристиками (рис. 12).

Измеряется коэффициент связи между антеннами в исследуемом частотном диапазоне. Затем передающая антенна и генератор сигналов устанавливаются в камере, а приемная антенна – вне камеры (рис. 13).

В технологическое отверстие камеры последовательно устанавливаются исследуемые образцы материалов и проводятся измерения. Полученные значения сравниваются с коэффициентом связи антенн без экрана между ними, и вычисляется коэффициент экранирования. Данный метод пригоден также для оценки эффективности применения проводящих прокладок. Прокладки помещаются между камерой и стальной пластиной с известным коэффициентом экранирования – по снижению коэффициента экранирования можно довольно точно оценить эффективность применения той или иной прокладки.

С помощью этого метода было проверено несколько образцов материалов, результаты подтвердили заявленные значения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря появлению на рынке новых конструктивных материалов разработчикам становится проще обеспечить необходимые требования по ЭМС, но сложнее разобраться в многообразии предлагаемых продуктов. АО «ТЕСПРИБОР» обладает собственной испытательной лабораторией, способной подтвердить качество поставляемых материалов, что позволяет предлагать комплексные решения проблем ЭМС.

REFERENCES

1. **Pospisilik M., Drofova I., Kovar S., Dulik T., Tesacek A.** Construction of a Generator for Power Frequency Magnetic Field Immunity Test. 2023. 33rd International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA). 19–20 April 2023. DOI: 10.1109/RADIOELEKTRONIKA57919.2023.
2. **Pospisilik M.** Introduction to Electromagnetic Compatibility for Electronic Engineers... and not only for them. – Zlín: Tomas Bata University in Zlín. 2019.
3. IMO Resolution A.813(19) – General Requirements for Electromagnetic Compatibility (EMC) for all Electrical and Electronic Ships Equipment – (Adopted on 23 November 1995).
4. Standard MIL-STD-285 Attenuation Measurements for Enclosures and Electromagnetic Shielding

АВТОРЫ

Гришин Д., инженер-испытатель, лаборатория ЭМС, АО «ТЕСПРИБОР», Москва, Россия

Гусев И., инженер-испытатель, лаборатория ЭМС, АО «ТЕСПРИБОР», Москва, Россия

diagram shows the gain ratio spikes due to the spatial resonances prior to the absorber application. After the absorber is glued, the specification becomes smooth, and the amplifier with AGC is suitable for use. The absorbers represent the frequency-dependent materials that should be considered when selecting them.

Given the rate of appearance of new materials in the industry, it is impossible to be familiar with the properties of all of them in advance, due to which the EMC laboratory of TESTPRIBOR JSC has developed a method for confirming some specifications of shielding materials. The method is based on the MIL-STD-285 standard [3]. Confirmation of the shielding ratio of sheet materials is performed as follows. Prior to the measurements, the measuring system is calibrated. The receiving and measuring antennas with the well-known specifications are installed coaxially opposite each other in an acoustic chamber (Fig. 12).

The coupling ratio between the antennas is measured in the studied frequency range. Then the transmitting antenna and signal generator are installed in the chamber, and the receiving antenna is placed outside the chamber (Fig. 13).

The studied samples of materials are sequentially installed in the access hole of the chamber, and the measurements are taken. The obtained values are compared with the coupling ratio of antennas without a shield between them, and the shielding ratio is calculated. This method is also suitable for assessing the operating efficiency of conductive gaskets. The gaskets are placed between the chamber and a steel plate with a well-known shielding ratio, since reduction in the shielding ratio can help to fairly accurately assess the operating efficiency of a particular gasket.

This method has been used to verify several material samples, and the results have confirmed the declared values.

Due to introduction of new construction materials on the market, it is becoming easier for the designers to meet the necessary EMC requirements. However, it is now more difficult to understand the variety of offered products. TESTPRIBOR JSC has its own testing laboratory capable of confirming the quality of the supplied materials that allows to offer the comprehensive solutions to EMC problems.

AUTHORS

Grishin D., test engineer, EMC Laboratory, TESTPRIBOR JSC, Moscow, Russia.
Gusev I., test engineer, EMC Laboratory, TESTPRIBOR JSC, Moscow, Russia.