

УДК 537.531:621.039.537-037.87

## УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИЕ ЭКРАНЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

М.С.Х. АЛЬ-МАХДАВИ, Е.С. БЕЛОУСОВА

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь*

*Поступила в редакцию 31 октября 2018*

**Аннотация.** Представлены результаты исследования экранов электромагнитного излучения на основе волокнистого материала, содержащего частицы технического углерода, которые предназначены для защиты организма человека от негативного влияния электромагнитных волн.

**Ключевые слова:** синтетический материал, технический углерод, экраны электромагнитного излучения, коэффициент передачи, коэффициент отражения.

**Abstract.** The results of the study of electromagnetic radiation shields based on fibrous material containing carbon black particles are presented. They are designed to protect the human body from the negative effect of electromagnetic waves.

**Keywords:** synthetic material, technical carbon, electromagnetic radiation screens, transmission coefficient, reflection coefficient.

**Doklady BGUIR. 2018, Vol. 117, No. 7, pp. 7-11**

**Carbon-containing shields for protection of human body against electromagnetic radiation**

**M.S.Kh. Al-Mahdawi, E.S. Belousova**

### Введение

С 1995 года в перечень приоритетных задач охраны окружающей среды включено решение проблем ее загрязнения электромагнитным излучением, хотя данная проблема стала актуальной с начала 90-х годов прошлого столетия. В то время произошло существенное развитие новых видов коммуникаций. Уже в 1991 году начала осуществляться глобальная модернизация телефонных сетей, в 1993 году появился первый оператор мобильной сотовой связи. На сегодняшний день в окружающей среде циркулируют электромагнитные волны, источниками которых являются системы теле- и радиовещания, средства дистанционного наблюдения и контроля и пр.

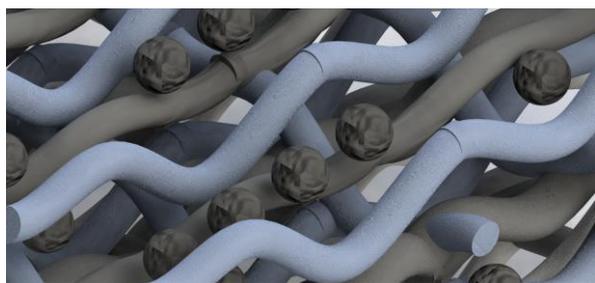
Термин электромагнитное загрязнение означает форму физического загрязнения окружающей среды, связанную с нарушением ее электромагнитных свойств [1]. Такое нарушение имеет существенное биологическое воздействие на организм человека, выражающееся в появлении теплового эффекта в результате воздействия электромагнитных волн большой интенсивности. Тепловой эффект может проявляться в повышении температуры тела, нагреве отдельных тканей и органов. Для защиты организма человека от электромагнитного излучения реализуются организационные и технические меры. Организационные меры заключаются в регламентировании предельно допустимых уровней электромагнитного излучения радиочастотного диапазона, воздействующего на человека [2].

В качестве технических мер защиты организма человека от электромагнитного излучения применяются экраны электромагнитного излучения, которые должны быть

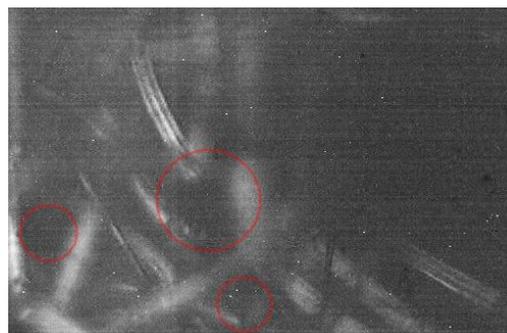
изготовлены из экологических материалов и быть удобны в использовании. В качестве таких экранов предлагается использовать волокнистые материалы, содержащие углеродные порошкообразные материалы, обладающие легкостью и гибкостью. Целью исследования, представленного в данной статье, являлось создание экрана электромагнитного излучения с углеродными добавками для защиты организма человека от электромагнитного излучения.

### Методика проведения эксперимента

Для проведения исследования были изготовлены образцы экранов электромагнитного излучения по методике, описанной в [3]. В качестве основы экранов электромагнитного излучения был выбран синтетический нетканый материал из полиэфирных волокон толщиной 5 мм. Данный материал имеет неупорядоченную структуру с неравномерно распределенными волокнами (рис. 1, *а*). В качестве проводящих компонентов предложено включить в структуру волокнистого материала порошкообразный технический углерод, обладающий небольшим размером частиц (порядка 9–600 нм), за счет чего обеспечится глубокое проникновение в структуру материала (рис. 1, *б*). Для обеспечения равномерного распределения частиц углерода в материале был выбран раствор дистиллированной воды с добавлением технического углерода в разном соотношении: образец № 1 (1:4), образец № 2 (1:2), образец № 3 (1:1). В данный раствор погружался волокнистый материал на 48 часов, после извлечения материала из раствора он помещался на плоскую поверхность до полного испарения влаги.



*а*



*б*

Рис. 1. Модель внутренней структуры образца экрана электромагнитного излучения на основе волокнистого материала (*а*) и цифровая фотография его поверхности с увеличением в 100 раз (*б*)

Далее производились измерения коэффициента отражения и передачи каждого образца, для чего использовался панорамный измеритель SNA 0,01–18, предназначенный для детектирования уровней падающей и отраженной волн электромагнитного излучения. Панорамный измеритель состоит из генератора качающейся частоты, блока обработки измерительных сигналов, антенн, блоков направленных ответвителей, соединяющиеся с каналами блока обработки измерительных сигналов и антеннами (рис. 2). Измеритель SNA 0,01–18 работает в диапазоне частот 0,01...18 ГГц с относительной погрешностью проводимых измерений  $\pm 1\%$ .

Методика проведения измерений состоит из основных трех этапов, представленных в [4]. При проведении измерений коэффициента передачи исследуемый образец располагался между антеннами (рис. 2). Размеры образца составляли 30×40 см, что обеспечивает полное закрытие приемной антенны для обеспечения точности измерений. Измерение коэффициента отражения проводилось в двух режимах:

- режим холостого хода;
- короткого замыкания, за исследуемым образцом располагался отражатель электромагнитного излучения (рис. 3).

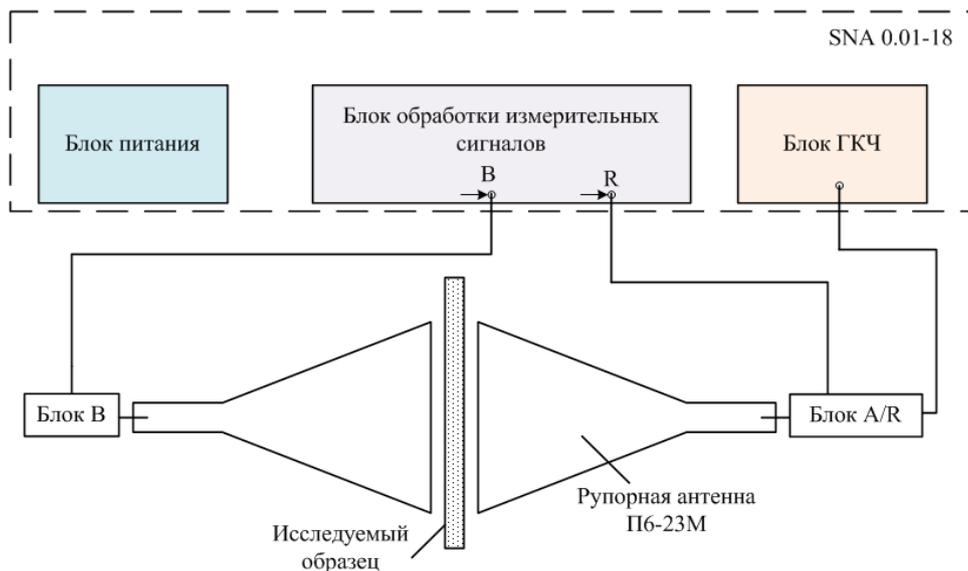


Рис. 2. Схема проведения измерений коэффициента передачи при помощи панорамного измерителя SNA 0,01-18

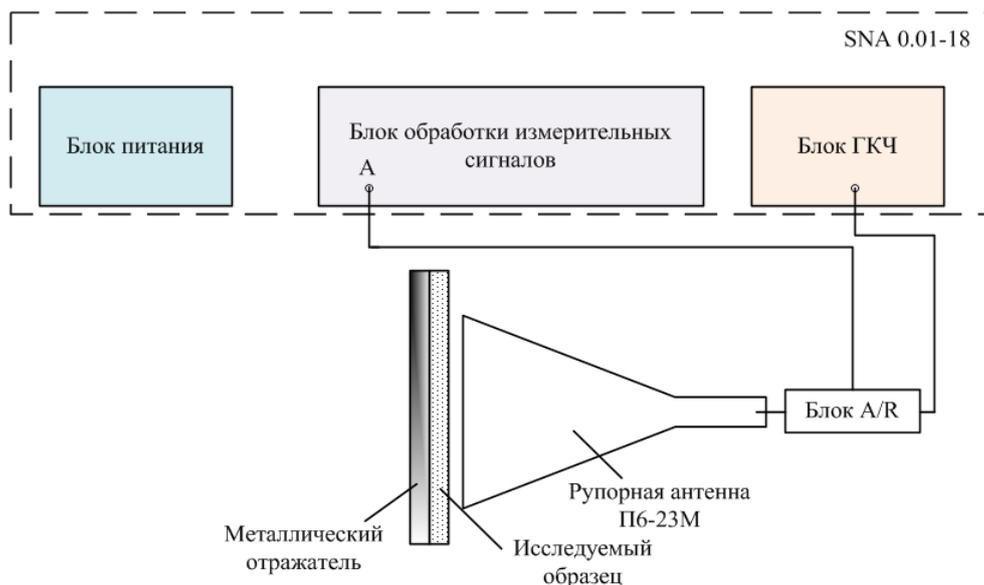


Рис. 3. Схема проведения измерений коэффициента отражения в режиме короткого замыкания (б) при помощи панорамного измерителя SNA 0,01-18

### Результаты и их обсуждение

В результате проведенных измерений коэффициента отражения и передачи с помощью панорамного измерителя SNA 0,01–18 получены частотные характеристики в диапазоне частот 0,7–17 ГГц (рис. 4, 5) для образца № 1 (кривая 1), образца № 2 (кривая 2), образца № 3 (кривая 3), для волокнистого материала без углерода (кривая 4).

По результатам анализа измерений коэффициента передачи для созданных образцов можно сделать вывод о зависимости коэффициента передачи от содержания технического углерода в материале (рис. 4). Для образца № 1 коэффициент передачи имеет минимальное значение (–3,1... –10,3 дБ). Для образца № 2 частотная характеристика коэффициента передачи находится в пределах –0,6...–8,4 дБ, для образца № 3 – –1,6... –5,2 дБ. Добавление частиц углерода в состав волокнистого материала снижает коэффициент передачи на 5 дБ.

Измерения коэффициента отражения в режиме холостого хода показывают, что его частотные характеристики для разных образцов незначительно отличаются (рис. 5, а).

Значение коэффициента отражения для образца № 1 изменяются в пределах  $-5,6 \dots -14,7$  дБ, для образца № 2 –  $-3,2 \dots -10,4$  дБ, для образца № 3 –  $-3,8 \dots -14,1$  дБ. Для образца без содержания частиц углерода коэффициент отражения, измеренный в режиме холостого хода, составляет  $-0,8 \dots -17,6$  дБ.

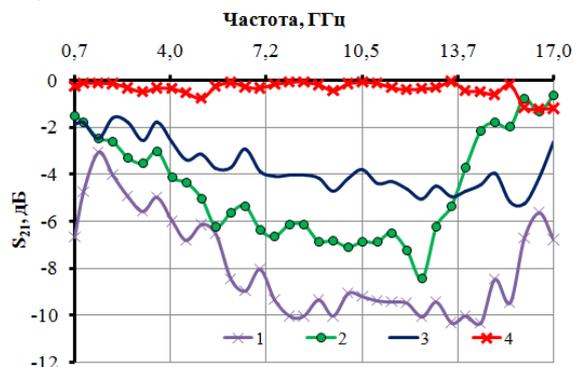


Рис. 4. Частотная зависимость коэффициента передачи электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7–17 ГГц

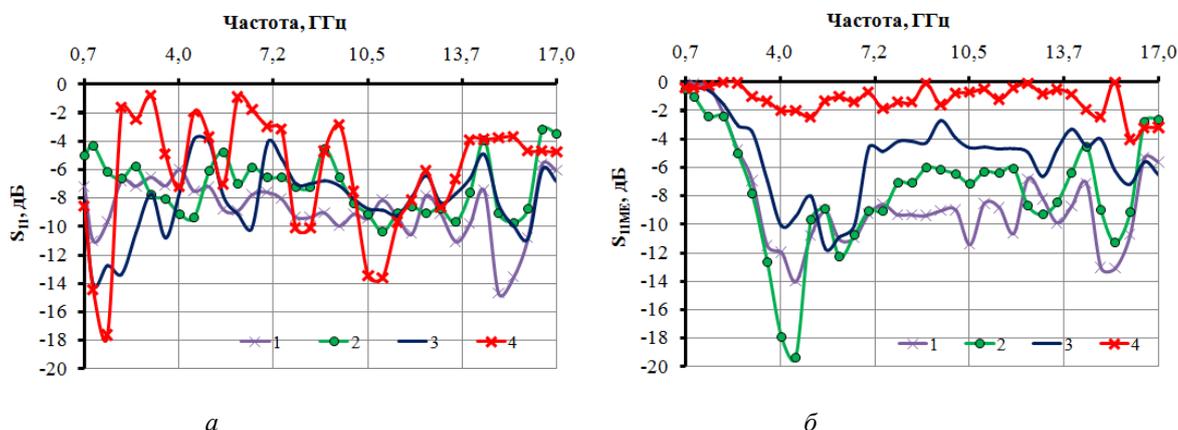


Рис. 5. Частотные зависимости коэффициента отражения ЭМИ, измеренного в режиме короткого замыкания (а) и согласованной нагрузки (б) в диапазоне частот 0,7–17 ГГц

Для образца № 1 коэффициент отражения, измеренный в режиме короткого замыкания, составляет  $-0,2 \dots -14,3$  дБ (рис. 5, б). Необходимо отметить, что частотные характеристики коэффициента отражения, измеренного в двух режимах, для образца № 1 похожи, что обосновано высоким содержанием углерода и электрической проводимостью материала. Частотная характеристика коэффициента отражения для образца № 2 изменяется в пределах  $-0,53 \dots -19,4$  дБ с ярко выраженным резонансом на частоте 3–5 ГГц. Коэффициент отражения для образца № 3 составляет  $-0,1 \dots -11,7$  дБ в диапазоне частот 0,7–17 ГГц. Таким образом, внедрение частиц углерода в состав волокнистого материала позволяет снизить коэффициент отражения на 6–15 дБ.

### Заключение

На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что на основе волокнистого материала с включением частиц углерода можно создавать изделия для защиты организма человека от негативного влияния электромагнитного излучения. В зависимости от содержания частиц углерода в составе материала и их распределения, коэффициент передачи составляет  $-5,6 \dots -14,7$  дБ, коэффициент отражения  $-0,53 \dots -19,4$  дБ. Изделия, изготовленные из углеродосодержащих материалов, отличаются гибкостью и незначительным весом, а также обладают теплопроводностью.

## Список литературы

1. Снакин В.В. Экология и охрана природы. Словарь-справочник. М.: Academia, 2000. 384 с.
2. Требования к электромагнитным излучениям радиочастотного диапазона при их воздействии на человека: постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь № 23 от 05.03.2015.
3. Белоусова Е.С., Мохамед А.М.А., Аль-Адеми Я.Т.А. Гибкие углеродосодержащие поглотители электромагнитного излучения на основе волоконистых материалов // Докл. БГУИР. 2017. № 2 (104). С. 63–68.
4. ГОСТ 20271.1–91. Изделия электронные СВЧ. Методы измерения электрических параметров.

## References

1. Snakin V.V. Jekologija i ohrana prirody. Slovar'-spravochnik. M.: Academia, 2000. 384 s. (in Russ.)
2. Trebovanija k jelektromagnitnym izluchenijam radiochastotnogo diapazona pri ih vozdejstvii na cheloveka: postanovlenie M-va zdravooxranenija Respubliki Belarus' № 23 ot 05.03.2015. (in Russ.)
3. Belousova E.S., Mohamed A.M.A., Al'-Ademi Ja.T.A. Gibkie uglerodosoderzhashhie poglotiteli jelektromagnitnogo izluchenija na osnove voloknistyh materialov // Dokl. BGUIR. 2017. № 2 (104). S. 63–68. (in Russ.)
4. GOST 20271.1–91. Izdelija jelektronnye SVCh. Metody izmerenija jelektricheskikh parametrov. (in Russ.)

### Сведения об авторах

Белоусова Е.С., к.т.н., доцент кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Аль-Махдави М.С.Х., аспирант кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

### Information about the authors

Belousova E.S., PhD, associate professor of the information security department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Al-Mahdawi M.S.Kh., PG student of information security department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

### Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,  
Белорусский государственный  
университет информатики и радиоэлектроники  
тел. +375-17-293-22-09;  
e-mail: elena1belousova@gmail.com;  
Белоусова Елена Сергеевна

### Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovka st., 6,  
Belarusian State University  
of Informatics and Radioelectronics  
tel. +375-17-293-22-09;  
e-mail: elena1belousova@gmail.com;  
Belousova Elena Sergeevna