

УДК 621.317.08:535.231.11

## ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ УРОВНЕЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕГО ОСЛАБЛЕНИЯ ЗАЩИТНЫМИ ЭКРАНАМИ

*Бойправ О.В., Лыньков Л.М., Борботько Т.В.*

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь

*Описаны информационно-измерительная система и реализованная на ее основе методика, применяемые для оценки уровней мощности электромагнитного излучения, проходящего через конструкцию защитного экрана. Предложено использовать разработанную методику для планирования и проведения испытаний экранов электромагнитного излучения для безэховых камер. (E-mail: boipravolga@rambler.ru)*

**Ключевые слова:** информационно-измерительная система, мощность электромагнитного излучения, защитные экраны электромагнитного излучения, эффективная площадь измерительной антенны.

### Введение

В настоящее время широкое распространение получили системы радиосвязи, телевидения, локации, навигации. В большинстве случаев они разворачиваются в непосредственной близости к предприятиям либо жилым районам. Электромагнитное излучение (ЭМИ) диапазона СВЧ, сопровождающее работу перечисленных систем, способно вносить помехи в функционирование радиоэлектронного оборудования, используемого, например, в промышленности, а также оказывать негативное влияние на биологические объекты [1]. В связи с этим одной из важных технических проблем современности является решение задачи экранирования ЭМИ, заключающееся в создании конструкций экранов, обеспечивающих ослабление его энергии. Они отличаются набором входящих в их состав компонентов, структурой поверхности, а также диапазоном частот, в котором достигается их наибольшая эффективность.

Нормируемым параметром ЭМИ диапазона СВЧ является плотность потока энергии (ППЭ), выражаемая в мВт/см<sup>2</sup> [2]. Большинство методик, существующих в настоящее время, позволяют оценивать эффективность экранов ЭМИ путем измерения их коэффициентов отражения и передачи по напряженности, выражаемых в дБ. Данные параметры не поддаются нормированию (ввиду того, что выражаются в дБ, а не мВт/см<sup>2</sup>),

значит, по их величинам нельзя судить о пригодности выбранного материала для использования в целях защиты биологических объектов и оборудования от воздействия ЭМИ диапазона СВЧ.

Цель настоящей работы состояла в создании информационно-измерительной системы (ИИС) и методики, позволяющих оценивать мощность ЭМИ диапазона 0,8–18 ГГц, проходящего через конструкцию защитного экрана.

### Характеристики устройств информационно-измерительной системы

Информационно-измерительная система для оценки уровней мощности ЭМИ, проходящего через конструкцию защитного экрана, реализована на основе следующих устройств:

- генератор ЭМИ диапазона 0,01–18 ГГц, входящий в состав измерителя модуля коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01–18;
- СВЧ измерительный тракт, включающий в себя передающую и приемную антенны;
- измеритель мощности (ИМ) ЭМИ диапазона 0,01–18 ГГц.

Для управления параметрами генератора ЭМИ (амплитудой и частотой) используется специальное программное обеспечение. Погрешность установки параметров генератора посредством данного программного обеспечения составляет  $\pm 0,1 \dots \pm 0,5 \%$ .

Основная погрешность ( $\delta$ , %) использованного ИМ без учета рассогласования и дополнительных переходов не превышает значений:

$$\delta = \pm \left[ 6 + 0,1 \cdot \left( \frac{P_k}{P_x} - 1 \right) \right],$$

где  $P_k$  – конечные значения установленного предела измерения;  $P_x$  – показания ИМ.

Для частотного диапазона 0,01–18 ГГц  $P_k$  использованного ИМ составляет 10 мВт. Время установления его показаний до значения 95 % от задаваемого не превышает 1 с. За счет применения дополнительных аттенуаторов возможно расширение динамического диапазона ИМ, а значит, и увеличение  $P_k$ , до 10 Вт. Разрешающая способность ИМ – 0,1 мкВт. Прибор работает в комплекте с термоэлектрическими и диодными преобразователями мощности в напряжение постоянного тока.

Порядок соединения устройств ИИС и расположение исследуемых образцов в процессе измерений показаны на рисунке 1.

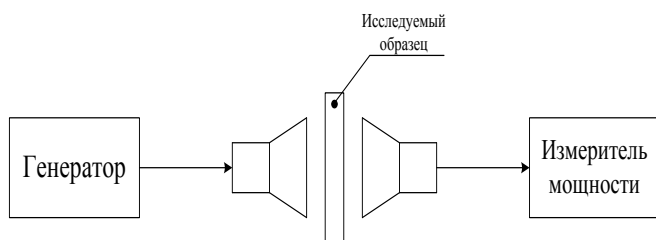


Рисунок 1 – Структурная схема информационно-измерительной системы

Оценка уровней мощности ЭМИ, проходящего через конструкцию защитного экрана, с использованием описанной ИИС предполагает выполнение следующих этапов:

1) выбор значений частот и уровней мощности электромагнитных воздействий на конструкцию защитного экрана с учетом предполагаемой области ее использования и технических характеристик устройств ИИС;

2) калибровка ИИС на выбранных частотах и уровнях мощности ЭМИ;

3) измерения с использованием результатов калибровки уровней мощности ЭМИ, проходящего через конструкцию защитного экрана.

Калибровка ИИС проводится при отсутствии между передающей и приемной антеннами исследуемого образца (конструкции за-

щитного экрана). Калибровка предполагает определение на каждой из выбранных частот уровней мощности ЭМИ генератора, соответствующих определенному постоянному уровню мощности ЭМИ на приемной антенне. При этом последний контролируется посредством ИМ. Передающая и приемная антенны в процессе калибровки размещаются друг напротив друга. С целью увеличения точности дальнейших измерений калибровку ИИС на каждой из выбранных частот и по каждому из выбранных уровней мощности ЭМИ предлагается проводить десятикратно.

В таблице сведены значения случайной ( $\Delta x_{\text{случ}}$ ), систематической ( $\Delta x_{\text{сист}}$ ), абсолютной ( $\Delta x$ ) и относительной ( $\delta$ ) погрешностей калибровки ИИС, проведенной на 20 частотах диапазона 0,01–18 ГГц по уровню мощности на приемной антенне 1 мВт [3]. ЭМИ данного частотного диапазона сопровождается работа средств вычислительной техники, базовых станций мобильной связи, радиолокационных станций, устройств навигации.

Таблица

Погрешности калибровки информационно-измерительной системы по уровню мощности на приемной антенне 1 мВт

Частота, ГГц	$\Delta x_{\text{случ}}$ , дБм	$\Delta x_{\text{сист}}$ , дБм	$\Delta x$ , дБм	$\delta$ , %
0,8	0,14	0,10	0,17	2,89
0,9	0,08	0,10	0,13	2,74
1	0,13	0,10	0,17	5,04
2	0,09	0,10	0,14	3,35
3	0,11	0,10	0,15	1,97
4	0,12	0,10	0,16	1,77
5	0,12	0,10	0,15	1,53
6	0,10	0,10	0,14	0,78
7	0,11	0,10	0,15	0,90
8	0,08	0,10	0,13	0,95
9	0,13	0,10	0,16	1,36
10	0,09	0,10	0,14	0,98
11	0,07	0,10	0,12	0,82
12	0,08	0,10	0,13	0,86
13	0,10	0,10	0,14	0,74
14	0,12	0,10	0,15	0,85
15	0,06	0,10	0,12	0,60
16	0,09	0,10	0,13	0,72
17	0,08	0,10	0,13	0,64
18	0,03	0,10	0,11	0,47

После проведения калибровки ИИС исследуемый образец размещается между измерительными антеннами. Далее с помощью генератора поочередно формируются ЭМИ тех уровней мощности, которые были определены в процессе калибровки, и снимаются показания ИМ.

Для упрощения анализа результатов измерений предлагается на их основе строить графические зависимости, откладывая при этом по оси абсцисс значения выбранных частот, по оси ординат – соответствующие им измеренные на третьем этапе значения уровней мощности ЭМИ ( $P_{ЭМИ}$ ). Пример таких графических зависимостей представлен на рисунке 2 (каждая из представленных зависимостей соответствует определенному постоянному уровню мощности ЭМИ, по которому осуществлялась калибровка ( $P_{вх}$ ); результаты получены при измерениях с использованием антенн П6-23М).

Наличие пиков на представленных на рисунке 2 графических зависимостях обусловлено свойствами материалов, на основе которых изготовлены исследованные экранирующие конструкции.

Предложенная методика позволяет также определять ППЭ ЭМИ, проходящего через конструкцию защитного экрана. ППЭ представляет собой величину, равную количеству энергии, переносимой через единичную площадь, в единицу времени [4]:

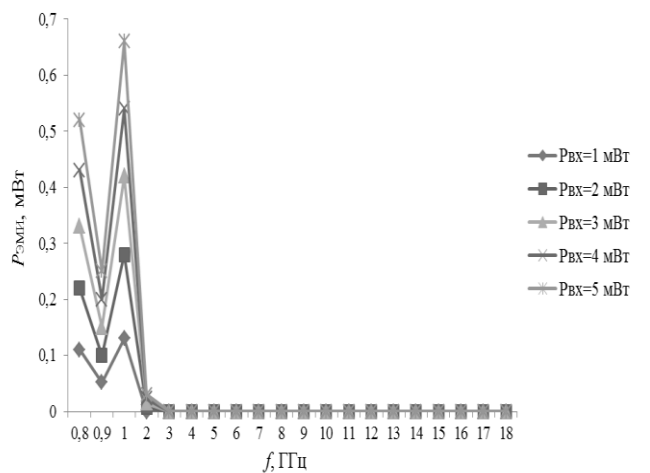
$$ППЭ = \frac{\Phi_E}{S_E \cdot N_\Phi}$$

где  $\Phi_E$  – поток излучения (мощность передатчика), Вт;  $S_E$  – эффективная площадь измерительной антенны, м<sup>2</sup>;  $N_\Phi$  – коэффициент полезного действия фидерного тракта, зависящий от материала и геометрических размеров антенны, уровня мощности ЭМИ.

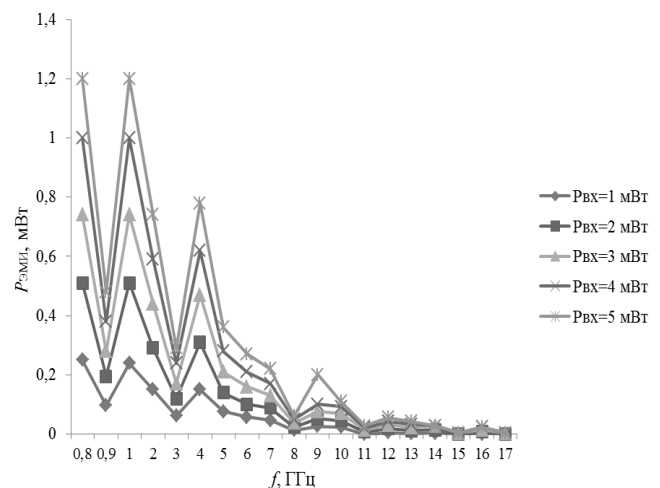
Отношение  $\frac{\Phi_E}{N_\Phi}$  определяется значениями, определяемыми посредством ИМ. Поэтому для расчета ППЭ необходимо учитывать величину эффективной площади измерительной антенны. Она зависит от частоты ЭМИ и коэффициента направленного действия (КНД) антенны, который, в свою очередь, определяется ее геометрическими размерами.

$$S_E = \frac{c^2 \cdot КНД}{4 \cdot \pi \cdot f^2},$$

где  $c$  – скорость света в вакууме;  $f$  – частота электромагнитной волны.



а



б

Рисунок 2 – Частотные зависимости уровней мощности ЭМИ, проходящего через монолитную шунгитобетонную экранирующую конструкцию (а) и экранирующую конструкцию, покрытую шунгитобетонной смесью (б)

Частотная зависимость эффективной площади антенны П6-23М представлена на рисунке 3. Расчет КНД данной антенны проведен с использованием программного приложения SABOR.

### Заключение

Предложенные информационно-измерительная система и методика позволяют производить оценку уровней мощности электромагнитного излучения, проходящего через конструк-

цию защитного экрана, а также определять плотность потока энергии данного электромагнитного излучения. Значения относительных погрешностей измерений при этом не превышают  $\pm 6\%$ .

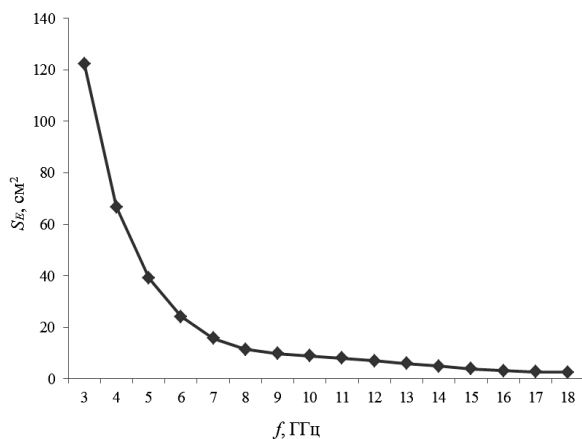


Рисунок 3 – Частотная зависимость эффективной площади измерительной антенны

Предложенная методика может быть использована при планировании и проведении испытаний конструкций экранов электромагнитного излучения для безэховых камер.

### Список использованных источников

1. *Лыньков, Л.М.* Безопасность эксплуатации источников электромагнитных полей / Л.М. Лыньков, В.В. Соловьев, Т.В. Борботко. – Минск, 2002. – 74 с.
2. Охрана труда и промышленная экология. Методы и средства экранирования электромагнитного излучения / Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2000. – 106 с.
3. Зайдель, А. Погрешности измерений физических величин / А. Зайдель. – Л., 1985. – 112 с.
4. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн : учебник для вузов / Г.А. Ерохин, О.В. Чернышев, Н.Д. Козырев, В.Г. Кочержевский ; под ред. Г.А. Ерохина. – 3-е изд., испр. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 531 с.

Boiprav O.V., Lynkov L.M., Borbotko T.V

### Information-measuring system for evaluation of electromagnetic radiation power levels influence to its weakened by protective shields

An information-measuring system and realized on the basis of its methodology used for evaluation of electromagnetic radiation power levels passing via the protective shielding construction are described. It's proposed to use the developed methodology for the testing of electromagnetic radiation shields for anechoic chambers. (E-mail: boipravolga@rambler.ru)

**Key words:** information-measuring system, electromagnetic radiation power, electromagnetic radiation protection shields, measuring antenna effective area.

Поступила в редакцию 18.03.2013