

УДК 621.315.4/61

## МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЭКРАНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПЕРЕМЕЩАЮЩИХСЯ ЖИДКИХ СРЕД

Т.В. БОРБОТЬКО

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 30 января 2013*

Разработан стенд для измерений коэффициентов передачи и отражения, а также уровня прошедшей мощности конструкций экранов электромагнитного излучения, по поверхности или в объеме которых принудительно перемещаются жидкие среды. Указанные параметры измеряются с учетом состава и скорости движения жидкости и угла падения электромагнитной волны на исследуемую конструкцию экрана электромагнитного излучения.

*Ключевые слова:* экран электромагнитного излучения, коэффициент передачи, коэффициент отражения, уровень прошедшей мощности.

### Введение

Конструирование экранов электромагнитного излучения (ЭМИ) представляет собой оптимизационный процесс, при котором требуется достичь требуемых показателей эффективности проектируемой конструкции с учетом ограничений, предъявляемых к массогабаритным, эксплуатационным и стоимостным характеристикам. Решение подобных задач реализуется за счет варьирования параметров экранов ЭМИ, влияющих на процесс их взаимодействия с электромагнитной волной (ЭМВ).

Современные конструкции экранов ЭМИ формируют на основе объемно-резистивных материалов, обладающих джоулевыми потерями. Формируемые на их основе пространственно-градиентные структуры характеризуются широкодиапазонностью. Достоинствами такого подхода являются технологичность получения электропроводящих композиционных материалов с различной концентрацией проводящей фазы и возможность оптимизации формы конструкций экрана ЭМИ [1]. Широко распространенными являются листовые конструкции экранов ЭМИ. Их основу, как правило, составляет пенополиуретан с ультрадисперсным углеродным наполнителем. Частицы углеродного материала существенно меньше длины волны и образуют сплошную квазиграфитовую электропроводящую сетку. Формирование на поверхности подобных материалов геометрических неоднородностей высотой, кратной длине волны, позволяет обеспечить диффузное рассеяние ЭМВ [2]. Для решения задач электромагнитной совместимости, снижения заметности вооружения, военной и специальной техники используются радиорассеивающие экраны ЭМИ, которые формируются путем нанесения на полимерную пленку проводящих покрытий, на основе которых создаются элементы конструкции экрана ЭМИ представляющего собой квазихаотические дипольные структуры. Снижение толщины конструкции экрана ЭМИ может быть обеспечено за счет использования магнитных материалов [3]. Альтернативой вышеперечисленным конструкциям экранов ЭМИ являются экраны, выполняемые на основе волокнистых материалов, содержащих в своих порах жидкостный наполнитель, который обеспечивает их широкодиапазонность и меньшее значение коэффициента отражения ЭМВ [4]. Основным недостатком существующих конструкций экранов ЭМИ является то, что управление их коэффициентами отражения и передачи, в процессе их эксплуатации, не представляется возможным. Подобный недостаток устранен в конструкциях экранов

ЭМИ по поверхности или в объеме которых принудительно перемещаются жидкие среды.

Целью данной работы являлась разработка многофункционального стенда, позволяющего проводить измерения коэффициентов отражения и передачи, уровня прошедшей мощности конструкций экранов ЭМИ с перемещающимися жидкими средами в зависимости от состава, скорости движения жидкости и угла падения ЭМВ.

### Методика проведения эксперимента

Исследуемый экран ЭМИ закрепляется на поворотном столе (рис. 1), конструкция которого предусматривает изменение его положения относительно нормали (при котором обеспечивается падение ЭМВ на исследуемый объект под углом  $90^\circ$ ), что позволяет варьировать угол падения ЭМВ до  $45^\circ$ .

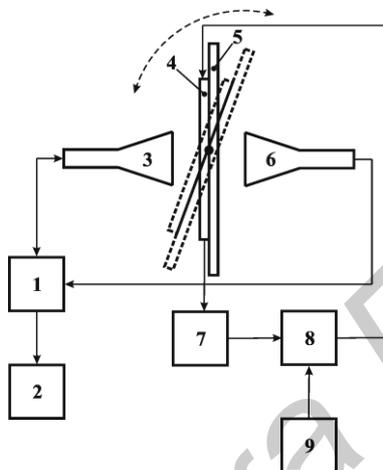


Рис. 1. Схема стенда для измерения коэффициентов передачи и отражения экранов ЭМИ: 1 – измеритель коэффициентов отражения и передачи; 2 – дисплей; 3 – рупорная антенна; 4 – исследуемый объект; 5 – поворотный стол; 6 – рупорная антенна; 7 – резервуар с жидкостью; 8 – насос; 9 – источник питания

К конструкции экрана подключается система подачи жидкости состоящая из резервуара, насоса, источника его питания и трубопровода. Скорость движения жидкости регулируется за счет изменения напряжения питания насоса. Конструкция стенда обеспечивает движение жидкости по поверхности исследуемого экрана, а также в его объеме (при условии наличия необходимых каналов в материале экрана).

Скорость течения жидкости рассчитывается в соответствии со следующей методикой. Жидкость объемом 1 л прокачивается через трубопровод системы в резервуар. Время ее течения отсчитывается с момента начала ее поступления в резервуар и до момента полного его заполнения. Средняя скорость вычисляется по формуле [5]:

$$v_{ср} = \frac{Q}{\omega},$$

где  $Q$  – расход жидкости,  $\omega$  – сечение трубопровода,  $\text{м}^3$ .

Расчет расхода жидкости выполнялся по формуле

$$Q = \frac{V}{t},$$

где  $V$  – объем жидкости,  $t$  – время течения жидкости.

Измерение коэффициентов отражения и передачи исследуемого экрана ЭМИ выполняется с использованием измерителя модулей коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01-18 и комплекта рупорных антенн П6-23М, что позволяет регистрировать указанные параметры в диапазоне частот 0,7...18 ГГц.

Перед измерением коэффициента отражения на первом этапе выполняется калибровка измерителя на короткозамыкатель, в качестве которого используется листовая медь толщиной 3 мм,

закрепляемая на поворотном столе. Падающая ЭМВ, излучаемая антенной 3, отражается от короткозамыкателя и принимается антенной 3, сигнал с которой поступает на SNA 0,01-18. Процедура калибровки, после ее запуска оператором, выполняется в автоматическом режиме. Разделение падающей и отраженной волн реализуется с использованием направленного детектора. После калибровки на поворотный стол устанавливается исследуемая конструкция экрана ЭМИ и к ней подключается система подачи жидкости. Далее выполняется документирование частотных зависимостей коэффициента отражения при изменении скорости движения жидкости, максимальное значение которой определяется типом используемого насоса.

Перед измерением коэффициента передачи измеритель калибруется. В этот момент времени на стол не устанавливается исследуемая конструкция экрана ЭМИ. Падающая ЭМВ излучается антенной 3, проходит через крышку стола, выполненную из полистирола толщиной 3 мм и принимается антенной 6, сигнал с которой поступает на SNA 0,01-18. Размещение крышки стола между двумя рупорными антеннами в процессе калибровки стенда позволяет учесть погрешность, вносимую ею, в процессе исследования конструкции экрана ЭМИ. Процедура калибровки, после ее запуска оператором, выполняется в автоматическом режиме. После калибровки на поворотный стол устанавливается исследуемая конструкция экрана ЭМИ и к ней подключается система подачи жидкости. Далее выполняется документирование частотных зависимостей коэффициента передачи при изменении скорости движения жидкости. Количество циклов измерений одного и того же параметра и усреднения итогового результата за  $N$ -циклов измерений определяется оператором стенда. Относительная погрешность измерений коэффициентов передачи и отражения составляла  $\pm 1\%$ .

Для измерения уровня мощности прошедшего ЭМИ через исследуемую конструкцию экрана стенд комплектуется измерителем мощности РМ 0,01-18 (рис. 2). Перед измерением проводится калибровка стенда, в процессе которой определяются уровни мощности ЭМИ генератора, в качестве которого использовался SNA 0,01-18 в полосе частот 0,7...18 ГГц, соответствующие уровням мощности ЭМИ на приемной антенне в 1 мВт, 2 мВт, 3 мВт, 4 мВт и 5 мВт (максимальный уровень измеряемой мощности РМ 0,01-18 составляет 10 мВт). При этом между передающей и приемной антеннами на поворотном столе исследуемая конструкция экрана ЭМИ не устанавливается. Для увеличения точности дальнейших измерений калибровка на каждой из частот проводится десятикратно.

После калибровки исследуемый объект закрепляется на поворотном столе. Падающая ЭМВ, излучается антенной 3, проходит через исследуемую конструкцию экрана ЭМИ и принимается антенной 6, сигнал с которой поступает на вход измерителя мощности, на дисплее которого отображается значение мощности ЭМИ. Частота и мощность ЭМИ задаются оператором стенда. Их значения контролируются на дисплее 2. Излучающей антенной поочередно формируется ЭМИ с уровнями мощности 1 мВт, 2 мВт, 3 мВт, 4 мВт или 5 мВт, и регистрируются результаты с помощью измерителя мощности РМ 0,01-18. Относительная погрешность измерений составила  $\pm 5\%$ .

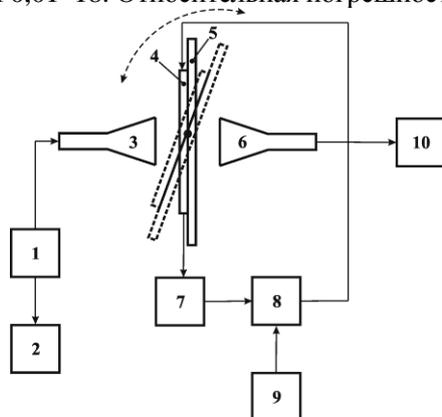


Рис. 2. Схема стенда для измерения мощности прошедшего ЭМИ: 1 – измеритель коэффициентов отражения и передачи; 2 – дисплей; 3 – рупорная антенна; 4 – исследуемый объект; 5 – поворотный стол; 6 – рупорная антенна; 7 – резервуар с жидкостью; 8 – насос; 9 – источник питания; 10 – измеритель мощности

## Обсуждение результатов

По изложенным выше методикам измерения были выполнены испытания конструкции экрана ЭМИ, которая представляла собой лист сотового поликарбоната типа 2RS размером  $500 \times 500$  мм [6]. Кроме того, наличие в листе параллельно расположенных прямоугольных каналов размером  $10 \times 10$  мм позволяет реализовать перемещение в его объеме жидкости, в качестве которой использовался 50%-й водный раствор этиленгликоля.

Показано, что увеличение уровня мощности падающей ЭМВ приводит к увеличению уровня мощности, прошедшей через конструкцию экрана ЭМВ (рис. 3), снижение которой достигается за счет увеличения скорости движения 50%-ого водного раствора этиленгликоля.

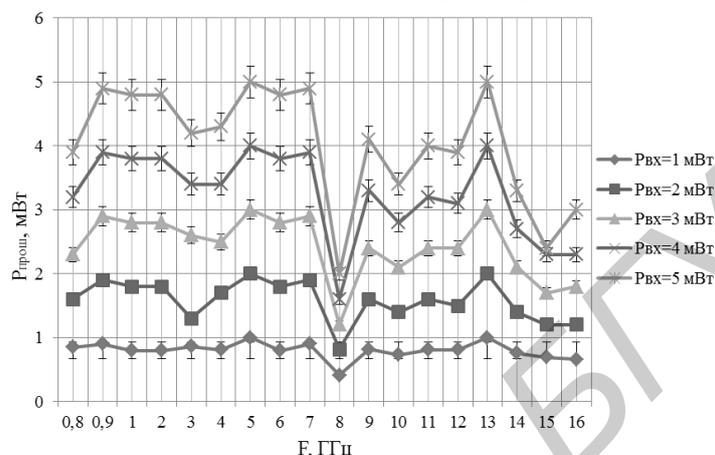


Рис. 3. Частотные зависимости уровня прошедшей мощности ЭМИ для конструкции экрана ЭМИ на основе сотового поликарбоната, через который протекает 50%-ый водный раствор этиленгликоля, при скорости движения жидкости 0,1 м/с

Установлено, что для исследуемой конструкции экрана ЭМИ при условии нормального падения ЭМВ на его поверхность коэффициент передачи зависит от скорости движения жидкости (рис. 4) и увеличивается с  $-2$  до  $-5,5$  дБ в диапазоне частот  $6,3 \dots 18$  ГГц при увеличении скорости движения жидкости с 0,1 до 0,3 м/с. Небольшой диапазон изменений значений коэффициента передачи в данном случае, обусловлен вязкостью жидкой среды, что, в свою очередь, вызывает повышение тормозящего воздействия стенок каналов сотового поликарбоната на поток жидкости за счет их эквивалентной гидравлической шероховатости. Изменение скорости движения 50%-го водного раствора этиленгликоля с  $0,1 \dots 0,3$  м/с позволяет также управляемо изменять коэффициент отражения с  $-2$  до  $-17$  дБ в диапазоне частот  $6 \dots 12$  ГГц за счет особенностей заполнения каналов экрана ЭМИ такой жидкостью (см. рис. 5).

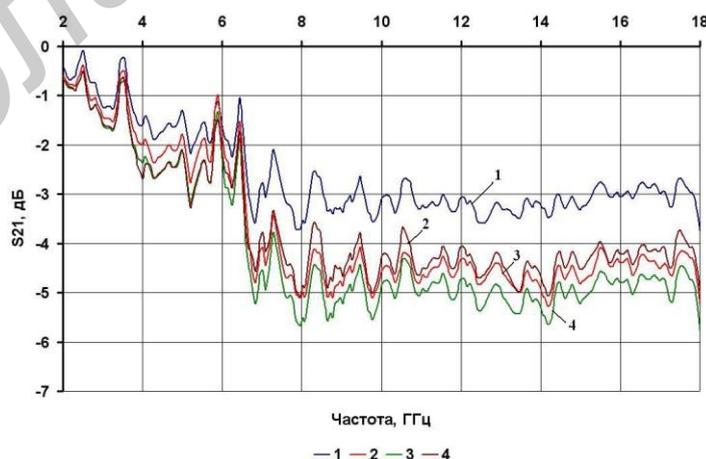


Рис. 4. Зависимость коэффициента передачи от частоты конструкции экрана ЭМИ на основе сотового поликарбоната, через который протекает 50%-ый водный раствор этиленгликоля, при скорости движения жидкости: 1 – 0,1 м/с; 2 – 0,15 м/с; 3 – 0,2 м/с; 4 – 0,3 м/с

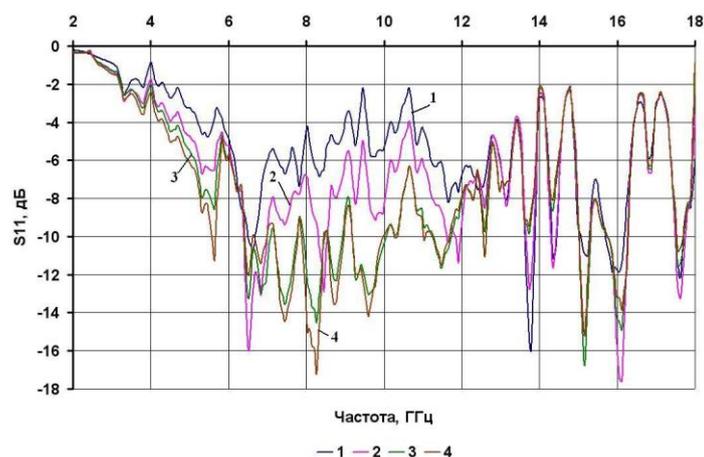


Рис. 5. Зависимость коэффициента отражения от частоты конструкции экрана ЭМИ на основе сотового поликарбоната, через который протекает 50%-ый водный раствор этиленгликоля, при скорости движения жидкости: 1 – 0,1 м/с; 2 – 0,15 м/с; 3 – 0,2 м/с; 4 – 0,3 м/с

### Заключение

Разработанный многофункциональный стенд позволяет выполнять испытания конструкций экранов ЭМИ на основе перемещающихся жидких сред и исследовать их коэффициенты передачи, отражения и уровня прошедшей мощности ЭМВ с учетом изменения скорости движения жидкости по поверхности или в объеме исследуемой конструкции экрана, а также угла падения ЭМИ на поверхность исследуемого объекта. Полученные результаты дают возможность проанализировать эффективность разрабатываемой конструкции экрана ЭМИ для выбранного варианта применения и предложить рекомендации по его дальнейшему использованию или усовершенствованию. Показано, что экран ЭМИ, формируемый на основе поликарбоната сотовой конструкции типа 2RS, в объеме которого перемещается 50%-ый водный раствор этиленгликоля, позволяет управляемо изменять его коэффициенты передачи (с  $-2$  до  $-5,5$  дБ) и отражения (с  $-2$  до  $-17$  дБ), а также уровень прошедшей мощности ЭМВ за счет варьирования скорости движения указанной жидкости с  $0,1 \dots 0,3$  м/с.

## THE MULTIPURPOSE STAND FOR TEST OF ELECTROMAGNETIC RADIATION SHIELDS CONSTRUCTIONS ON THE BASIS OF THE MOVING LIQUID MEDIUM

T.V. BORBOTKO

### Abstract

Stand to measure transmission and reflection coefficients, as well as the held power level of the electromagnetic radiation shields constructions where on the surface or in the volume fluids move forcibly are designed. The above parameters are measured with fluid composition and velocity as well as the electromagnetic wave incidence angle on the investigated electromagnetic radiation shield.

### Список литературы

1. Богдаш В.А., Борботко Т.В., Гусинский А.В. и др. Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты. Минск, 2003.
2. Будай А.Г., Кныш В.П., Малый С.В. // Матер. 15-ой междунар. Крымской конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Севастополь, 12–16 сентября 2005. С. 645–646.
3. Покусин Д.Н., Чухлебов Э.А., Залесский М.Ю. // Радиотехника и электроника. 1991. Т. 36. № 11. С. 2085–2091.
4. Колбун Н.В., Лыньков Л.М., Богдаш В.А. и др. // Вестник ПГУ. Серия В. 2004. № 12. С. 30-35.
5. Богомолов А.И., Михайлов К.А. Гидравлика. М., 1972.
6. ТУ 2256–001–54141872–2006. Лист сотового поликарбоната. Технические условия.