

Экспериментальные исследования во временной области отражательных характеристик радиопоглощающих структур

© В.Г. Жирнов¹, И.И. Лебедюк²

¹Дмитровский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Дмитров, Московская область, 141801, Россия

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Приведены методики и результаты экспериментальных исследований радиопоглощающих структур на плоских металлических подложках и трехсекторных гранях одного из восьми трехгранных угловых отражателей, образующих октаэдрную компоновку. Данные получены во временной области с помощью установки для измерения параметров антенн при автоматической калибровке коэффициента отражения либо по обратной стороне подложки, либо по одному из пяти трехгранных угловых отражателей, оставшихся с непокрытыми гранями, в процессе вращения исследуемых структур на опорно-поворотном устройстве.

Ключевые слова: радиопоглощающие структуры, коэффициент отражения, безэховая камера.

Радиопоглощающие структуры (РПС) широко применяются для облицовки внутренних поверхностей безэховых камер компактных антенных полигонов, в антенной технике, а также для радиолокационной маскировки объектов, затрудняющей их обнаружение и распознавание.

При всем разнообразии РПС по используемым материалам для них характерно наличие металлической подложки, которая является либо принадлежностью их структуры, либо формируется при размещении. С точки зрения экологичности и негорючести РПС иногда предъявляются требования предельного уровня плотности потока мощности, рассеиваемого РПС.

Экспериментальные исследования РПС проводились в широких диапазонах углов падения и отражения, а также частот, как правило, в частотной области, и либо в условиях свободного пространства, либо в безэховых камерах. При этом большой объем измерений проводился на каждой из частот исследуемого диапазона, что требовало значительного аппаратного обеспечения. К настоящему времени накоплен большой опыт исследования объектов с помощью пикосекундных импульсов, [1, 2], также имеются эффективные аппаратные решения, позволяющие проводить измерения параметров антенн во временной области с последующим преобразованием в частотную область.

В частности, на базе установки для измерения параметров антенн (ООО НТП «Тензор», Нижний Новгород) создан экспериментальный

стенд для измерения параметров антенн и радиолокационных целей во временной области, позволяющий в условиях бокса (или безэховой камеры) ограниченных размеров и безэховости проводить измерения за счет высокого пространственно-временного разрешения зондирующих и принимаемых сигналов при исследовании в широком диапазоне частот от 100 МГц до 18 ГГц характеристик как слабонаправленных, так и остронаправленных антенн, а также отражательных характеристик радиолокационных целей и радиопоглощающих структур на металлических подложках.

Целью настоящей работы являются разработка методики и экспериментальные исследования во временной области с последующим преобразованием в частотную область характеристик РПС на плоских металлических подложках и на трех секторных гранях одного из восьми трехгранных угловых отражателей, образующих октаэдрную компоновку [3].

При исследовании отражательных характеристик РПС на металлических подложках использован режим измерения диаграмм направленности установки для измерения параметров антенн. При этом исследуемые объекты размещают на опорно-поворотном устройстве (ОПУ) выше названной установки, а передающая и приемная антенны П6-23М, направленные также на ось вращения ОПУ, монтируют на расстоянии 4 м от оси вращения ОПУ. Расстояния между передающей и приемной антеннами изменяются в зависимости от заданных углов падения и отражения. Минимальное расстояние между осями передающей и приемной антенн соответствует размеру раскрыва антенн и равно 0,4 м, что, в свою очередь, соответствует минимальным углам падения и отражения $\Theta = \pm 2,86^\circ$. При вращении исследуемых объектов на ОПУ дважды измеряются их индикатрисы рассеяния, угловой размер которых отвечает линейному размеру и длине волны на соответствующей частоте. При этом согласно алгоритму обработки результатов измерений происходит автоматическая калибровка коэффициента отражения от РПС по коэффициенту отражения от металлической подложки. Если исследуемым объектом является октаэдрная компоновка трехгранных угловых отражателей с секторными гранями, автоматическая калибровка проводится по одному из пяти трехгранных отражателей, оставшихся с непокрытыми гранями, в процессе их вращения на ОПУ.

В качестве РПС использовали следующие двухслойные структуры с согласующим и поглощающим слоями с поверхностью размером 0,5x0,5 м.

РПС 1 — композиция из стекловолокна с поглощающей компонентой; слои упакованы в дерматин и приклеены к металлической подложке из фольги размером 0,5x0,5x0,04 м;

РПС 2 — резиновая панель с поглощающим наполнителем размером $0,5 \times 0,5 \times 0,01$ м, приклеенная к металлической подложке специально для удовлетворения требованиям методики исследований;

РПС 3 — три сектора из приведенных выше резиновых панелей с радиусом 0,5 м и угловым размером 90° , приклеенные к трем граням одного из восьми трехгранных уголкового отражателей, образующих октаэдрную компоновку.

На рис. 1 приведены в полярной системе координат индикатрисы рассеяния (диаграммы обратного рассеяния) на частотах $f = 1$ ГГц (рис. 1, а) и 4 ГГц (рис. 1, б) РПС 1, полученные с помощью установки для измерения параметров антенн при углах падения и отражения $\Theta = \pm 2,86^\circ$ при вращении ОПУ от нуля до 360° . При этом отражения от РПС происходят в начале и в конце вращения и нормируются по отражениям от обратной стороны подложки, которые возникают вблизи угла, равного 180° .

На рис. 2 приведены в декартовой системе координат аналогичные диаграммы обратного рассеяния на частотах 7,5 ГГц (рис. 2, а) и 12,25 ГГц (рис. 2, б) для РПС 2, полученные также при углах падения и отражения $\Theta = \pm 2,86^\circ$ и вращении ОПУ от нуля до 360° . При этом в приводимых декартовых координатах отражения от подложки, соответствующие углу поворота ОПУ примерно 180° , совмещены с нулем в начале координат, соответствующим отражениям от исследуемой РПС.

Экспериментальные зависимости, аналогичные приведенным на рис. 1 и 2, имеются или могут быть получены на всех частотах исследуемого диапазона в процессе одного поворота ОПУ установки. Анализируя эти зависимости, находим значение коэффициента отражения от РПС для разных частот при угле отражения, равном углу па-

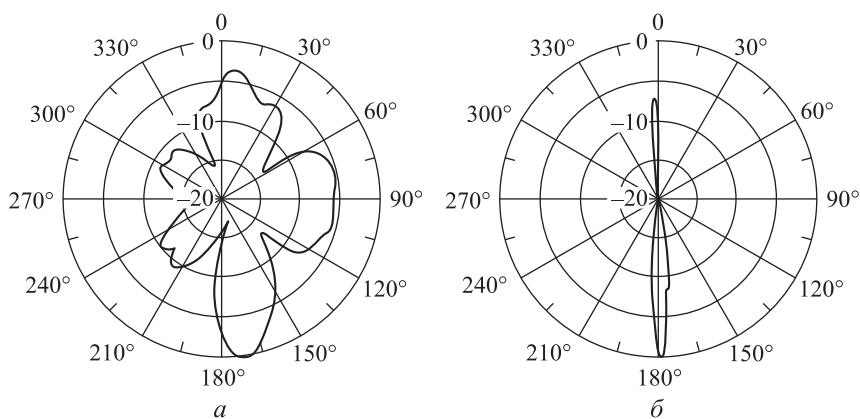


Рис. 1. Диаграммы обратного рассеяния РПС в виде двухслойной композиции из стекловолокна с поглощающей компонентой на металлической подложке:
а — $f = 1$ ГГц; б — $f = 4$ ГГц

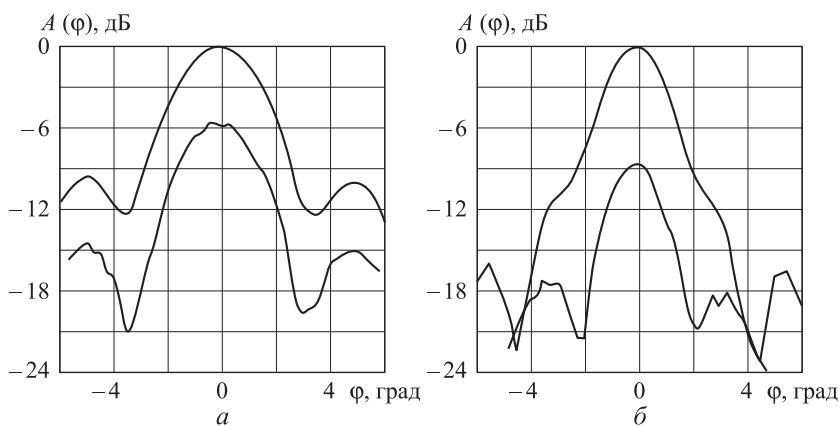


Рис. 2. Диаграммы обратного рассеяния РПС в виде двухслойных резиновых панелей с поглощающим наполнителем на металлической подложке:
a — $f = 7,5$ ГГц; *б* — $f = 12,25$ ГГц

дения. Диаграмма обратного рассеивания определяется соотношением между линейным размером исследуемого объекта и длиной волны на разных частотах.

На рис. 3 представлено размещение октаэдрной компоновки секторальных трехгранных угловых отражателей с радиусом граней 0,5 м (РПС 3) на ОПУ установки. Видно, что в процессе вращения измеряются индикатрисы рассеяния шести из восьми угловых отражателей, два других направлены вверх и вниз относительно плоскости вращения. Грани одного из шести этих отражателей покрыты РПС из двухслойной поглощающей резины.

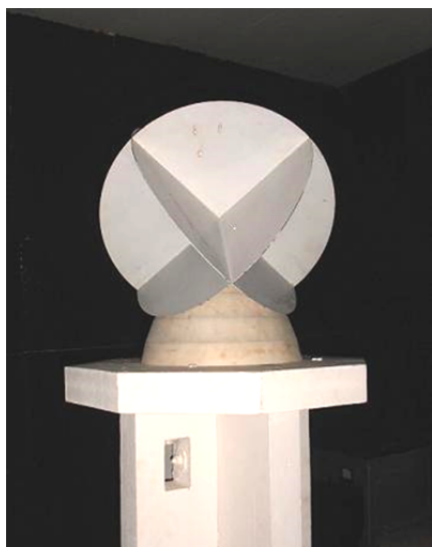


Рис. 3. Размещение октаэдрной компоновки трехгранных угловых отражателей на ОПУ

ражателей, два других направлены вверх и вниз относительно плоскости вращения. Грани одного из шести этих отражателей покрыты РПС из двухслойной поглощающей резины.

На рис. 4 приведены поляризационные индикатрисы рассеяния октаэдрной компоновки, полученные на частоте 8 ГГц. Видно, что на согласных поляризациях при углах поворота ОПУ от 210° до 270° имеется полная маскировка одного из восьми трехгранных угловых отражателей, лежащих в плоскости вращения. В то же время индикатрисы рассеяния на перекрестных поляризациях этим свойством практически не обладают. Следует от-

метить, что экспериментальные зависимости, аналогичные приведенным на рис. 4, также имеются или могут быть получены на всех частотах исследуемого диапазона.

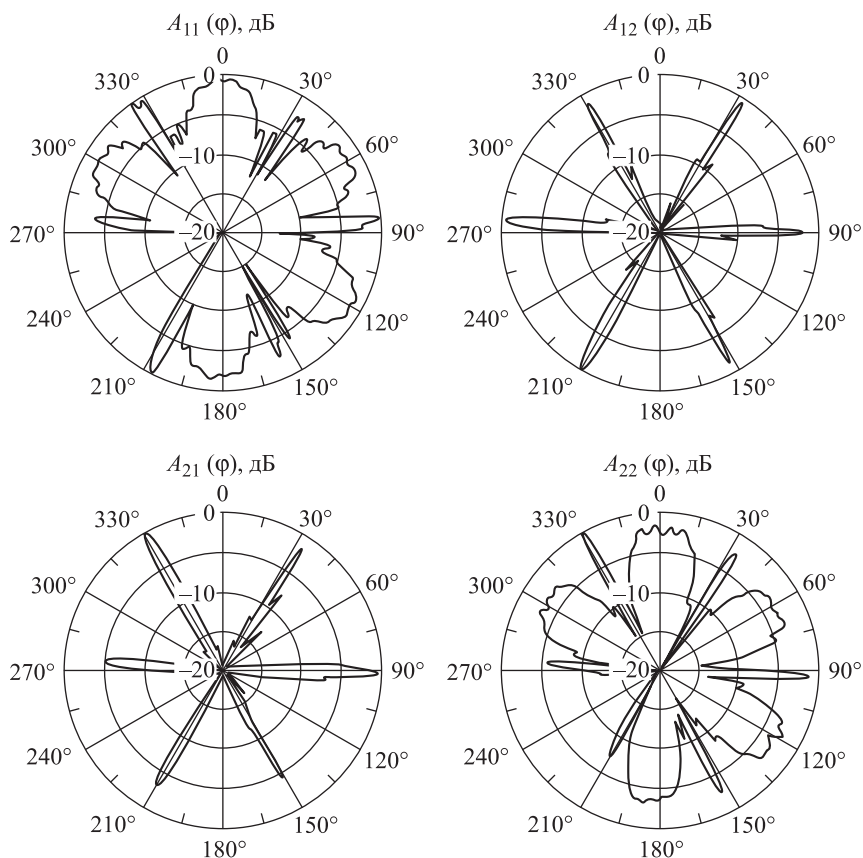


Рис. 4. Поляризационные индикатрисы рассеяния октаэдрной компоновки трехгранных уголкового отражателей (границ уголкового отражателя, лежащего в плоскости вращения, покрыты РПС из резиновых панелей) на частоте $f = 8$ ГГц

Заключение. В работе не преследовалась цель досконального исследования РПС, однако задача разработки методик измерения характеристик радиолокационных целей и РПС на металлических подложках во временной области с последующим преобразованием в частотную область, подтвержденных результатами экспериментальных исследований на примерах конкретных объектов, может считаться выполненной. Кроме того, для расширения возможностей исследования отражательных характеристик радиолокационных целей и РПС необходимо увеличить амплитуду зондирующих пикосекундных сигналов, переоснастив установку более мощным генератором, а также повысить чувствительность приемного устройства за счет широкополосных малошумящих усилителей.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Глебович Г.В., Андриянов А.В., Введенский Ю.В. *Исследование объектов с помощью пикосекундных импульсов*. Москва, Радио и связь, 1984, 255 с.
- [2] Астанин Л.Ю., Костылев А.А. *Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений*. Москва, Радио и связь, 1989, 192 с.
- [3] Кобак В.О. *Радиолокационные отражатели*. Москва, Сов. радио, 1975, 248 с.

Статья поступила в редакцию 26.07.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Жирнов В.Г., Лебедюк И.И. Экспериментальные исследования во временной области отражательных характеристик радиопоглощающих структур. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 9. URL: <http://engjournal.ru/catalog/pribor/radio/951.html>

Жирнов Владимир Георгиевич родился в 1951 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1974 г. Радиоинженер, сотрудник Дмитровского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 8 научных публикаций в области радиоэлектроники СВЧ. e-mail: zhirnovv@mail.ru

Лебедюк Игорь Иосифович родился в 1943 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1966 г. Канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник НИИ РЭТ МГТУ им. Н.Э. Баумана, доцент кафедры «Радиоэлектронные системы и устройства» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 72 научных публикаций и изобретений в области антенн и техники СВЧ.