

УДК 621.396

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МАКЕТА МОБИЛЬНОЙ ШИРОКОПОЛОСНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В. М. Олейник, П. Н. Скоков

Центральный научно-исследовательский институт ВВКО Минобороны России,
141091, Москва

Статья поступила в редакцию 8 декабря 2019 г.

Аннотация. Проведено исследование чувствительности макета мобильной широкополосной радиолокационной измерительной установки на базе векторного анализатора цепей, предназначенной для получения радиолокационных характеристик объектов и отработки алгоритмов формирования и фокусировки их двумерных инверсно-синтезируемых радиолокационных изображений в полунатурных и натуральных условиях.

Ключевые слова: радиолокационное зондирование, векторный анализатор цепей, радиолокационные характеристики, эффективная площадь рассеяния, инверсное синтезирование апертуры, радиолокационные изображения.

Abstract. This research concerns the possibility of using a movable broadband radar measuring set based on the vector network analyzer to obtain objects radar characteristics and applicable in practice algorithms of formation and focusing two-dimensional inversely synthesized radar images in semi-natural and natural conditions. Modern experimental methods of objects radar characteristics research are implemented by means of measuring sites of both open and closed types. High precision radar cross-section measurements are usually provided by anechoic chambers. The advantage of open-type landfills, including those built on the basis of movable radar measuring sets, is to consider the influence of the real underlying surface and the absence of restrictions associated with closed space. The purpose of this work is an experimental evaluation of the reference reflector radar cross-section measurement lower boundary by the means of a mock-up of a broadband radar measurement set based on vector network analyzer.

Key words: radar measuring set, vector network analyzer, radar cross section, inverse synthetic aperture, radar images.

В настоящее время в связи с интенсивным развитием средств высокоточного оружия с радиолокационными системами наведения, а также широким использованием технологии Stealth при разработке современных образцов вооружения и военной техники, исследование отражательных свойств подобных объектов в радиолокационном диапазоне длин волн сформировалось в самостоятельную область прикладной электродинамики [1]. Результатом таких исследований являются радиолокационные характеристики объектов (РЛХ), востребованные разработчиками радиолокационных систем и летательных аппаратов.

Несмотря на значительные достижения в области математического моделирования и решения дифракционных задач электродинамики с помощью специализированных программ [2], приемлемые для практики расчётные оценки РЛХ в разумных временных рамках получают лишь для объектов с точно известным поверхностным импедансом и относительно простой формы. В связи с этим экспериментальные методы исследования РЛХ различных объектов не утрачивают своей актуальности и требуют дальнейшего совершенствования.

Современные экспериментальные методы исследования РЛХ объектов применяют на измерительных полигонах открытого и закрытого типа (безэховые камеры). В отличие от безэховых камер достоинствами полигонов открытого типа является отсутствие ограничений, связанных с выполнением условия дальней зоны и необходимостью подавления мешающих отражений замкнутого пространства, а также возможность отработки модернизируемых и новых измерительных средств в полунатуральных условиях. Объектом исследований в настоящей работе является одно из таких средств – макет мобильной широкополосной радиолокационной измерительной установки на базе векторного анализатора цепей, предназначенной для получения

радиолокационных характеристик объектов и отработки алгоритмов формирования и фокусировки их двумерных инверсно-синтезируемых радиолокационных изображений в полунатуральных и натуральных условиях [3].

Основной составляющей погрешности измеряемых РЛХ объектов в условиях открытого радиолокационного измерительного полигона является уровень мешающих отражений, источниками которых являются подстилающая поверхность и элементы подъёмно-поворотной системы. Уровень фона определяет чувствительность радиолокационной измерительной установки – нижнюю границу динамического диапазона измерения эффективной площади рассеяния (ЭПР) объектов.

При наличии специального сканирующего зонда оценку уровня фона проводят путем измерения коэффициента безэховости (КБЭ) [1]. При отсутствии такового зонда в качестве характеристики безэховости можно использовать волновую зависимость эквивалентной эффективной площади рассеяния (ЭПР) рабочей зоны [4], получаемой путём измерения амплитуды сигнала, отражённого от пустого рабочего объёма измерительной установки. Для выражения полученной волновой зависимости уровня фоновых отражений в единицах ЭПР используется калибровка измерительной системы эталонными отражателями.

Целью данной работы являлась экспериментальная оценка нижней границы динамического диапазона измерений ЭПР объектов средствами макета широкополосной радиолокационной измерительной установки на базе векторного анализатора цепей.

Для достижения указанной цели была проведена серия измерений ЭПР эталонных отражателей в виде металлических сфер на рабочей дальности порядка 8 м, а также фона от подстилающей поверхности на трассе открытого радиолокационного измерительного полигона.

Были использованы металлические сферы диаметром от 6 до 400 миллиметров. В калибровке для каждой частоты f_i ($i = 1, \dots, N$, где N – число

частот в полосе перестройки частоты ΔF) учитывались лишь те эталонные отражатели, уровень мощности от которых превышал уровень фоновых отражений не менее, чем на 3 дБ.

Измерение ЭПР пустого рабочего объёма связано с особенностью, состоящей в том, что соответствующий ему уровень фоновых отражений заведомо меньше уровня самого малого эталонного отражателя. Данное обстоятельство приводит к тому, что значение мощности уровня фоновых отражений не входит в область определения функции, интерполирующей калибровочную зависимость, полученную по эталонам, что исключает корректное измерение его ЭПР.

Рациональным решением для данного случая представляется подход, основанный на введении понятия "аппаратного нуля" – точки калибровочной зависимости, соответствующей измеренному уровню мощности сигнала на выходе приёмника при отключенном антенном устройстве на входе, т.е. уровню собственных шумов приёмного устройства при заданной ширине полосы пропускания фильтра промежуточной частоты (ПЧ). Например, при ширине полосы пропускания фильтра ПЧ 20 кГц данному уровню мощности соответствует уровень ЭПР около 10^{-5} м^2 . При таком подходе уровень мощности фоновых отражений гарантированно попадает в область определения функции, интерполирующей калибровочную зависимость, что обеспечивает корректное получение волновой зависимости эквивалентной ЭПР макета широкополосной радиолокационной измерительной установки.

Дальнейшее снижение уровня шума приёмного устройства возможно за счёт уменьшения ширины полосы фильтра ПЧ, однако такое решение потребует существенно большего времени проведения эксперимента.

На рис. 1 представлена измеренная на макете широкополосной радиолокационной измерительной установки волновая зависимость эквивалентной ЭПР σ , на двух ортогональных поляризациях в условиях реальных фоновых отражений от подстилающей поверхности на трассе открытого радиолокационного измерительного полигона. На рис. 1 символами

ВП обозначена вертикальная поляризация, а символами ГП - горизонтальная поляризация.

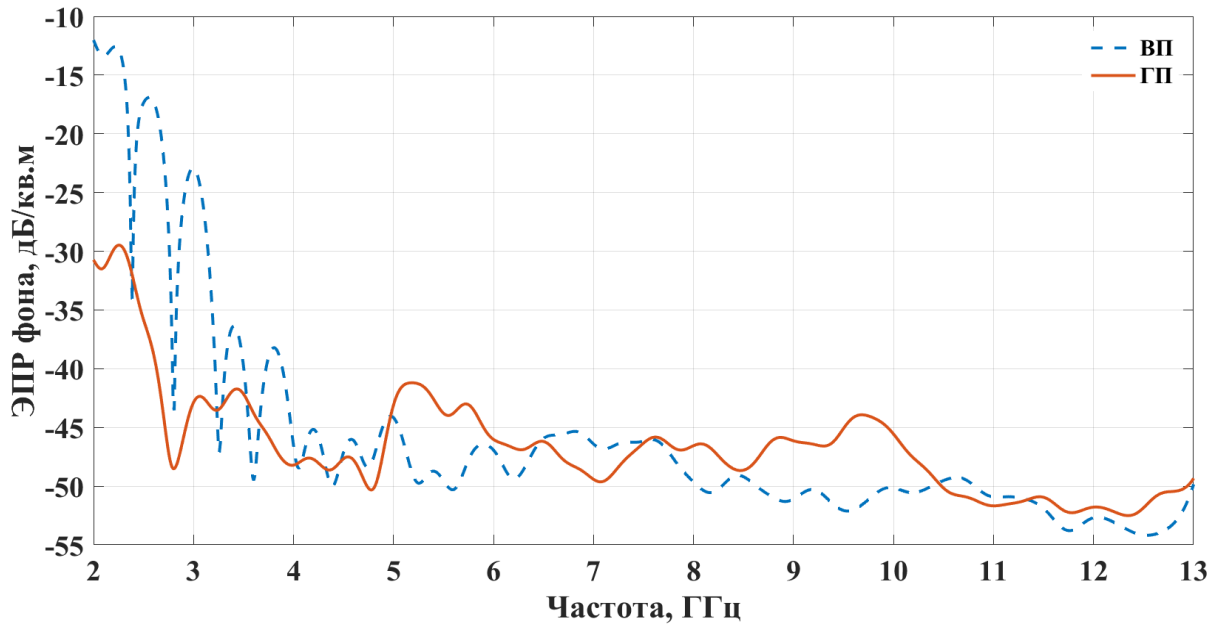


Рис. 1. Волновая зависимость эквивалентной ЭПР макета широкополосной радиолокационной измерительной установки.

Используя известную связь КБЭ с эквивалентной ЭПР [4] $KBЭ = \frac{\sigma_{\text{э}}}{4\pi R^2}$,

где R - рабочая дальность, получим волновую зависимость КБЭ, представленную на рис. 2.

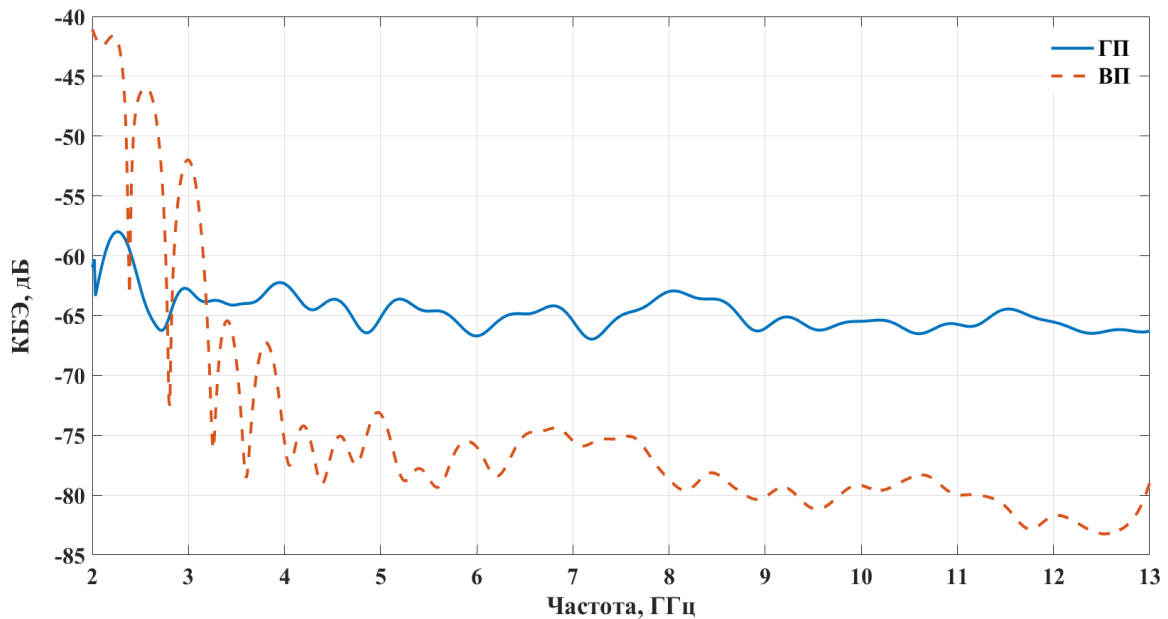


Рис. 2. Волновая зависимость КБЭ макета широкополосной радиолокационной измерительной установки.

Из графика на рис.2 видно, что КБЭ практически во всём частотном диапазоне не превышает уровня -60 дБ, что соответствует критерию применимости рассматриваемого макета широкополосной радиолокационной измерительной установки для измерения ЭПР объектов [5].

Для оценки нижней границы динамического диапазона рассматриваемого макета широкополосной радиолокационной измерительной установки используем следующую методику:

а) для каждой металлической сферы из выбранного ряда металлических сфер с последовательно уменьшающимся диаметром посредством прямых измерений получить волновую зависимость ЭПР $\sigma(f_i)$ на частотах f_i ;

б) используя полученные волновые зависимости и расчётные значения ЭПР $\sigma_{jp}(f_i)$ выбранной совокупности эталонных сфер ($j = 1...M$, где M - число сфер), вычислить относительные погрешности $\delta_j(f_i)$ по формуле

$$\delta_j(f_i) = 10Lg\left(1 + \frac{|\sigma_j(f_i) - \sigma_{jp}(f_i)|}{\sigma_{jp}(f_i)}\right);$$

в) для каждой частоты f_i из совокупности значений погрешностей $\delta_j(f_i)$ выбрать наибольшее, удовлетворяющее неравенству

$$\delta_j(f_i) \leq \delta_{\Pi}, \quad (1)$$

где δ_{Π} - пороговое значение.

Значение ЭПР сферы, индекс j которой совпадает с соответствующим индексом решения неравенства (1), принимается за нижнюю границу динамического диапазона макета широкополосной радиолокационной измерительной установки на частоте f_i

$$\sigma_H(f_i) = \sigma_j(f_i),$$

где j – индекс, соответствующий решению неравенства (1).

В соответствии с указанной методикой были проведены измерения ЭПР эталонных металлических сфер различных диаметров в диапазоне частот от 2 до 13 ГГц и рассчитаны волновые зависимости относительных погрешностей измерения. Полученная волновая зависимость нижней границы динамического

диапазона измеряемой ЭПР для величины порога допустимой погрешности $\delta_{\Pi} = 3\text{дБ}$ показана на рис.3 сплошной линией. Пунктиром на рисунке отмечена ЭПР сферы диаметром 8мм.

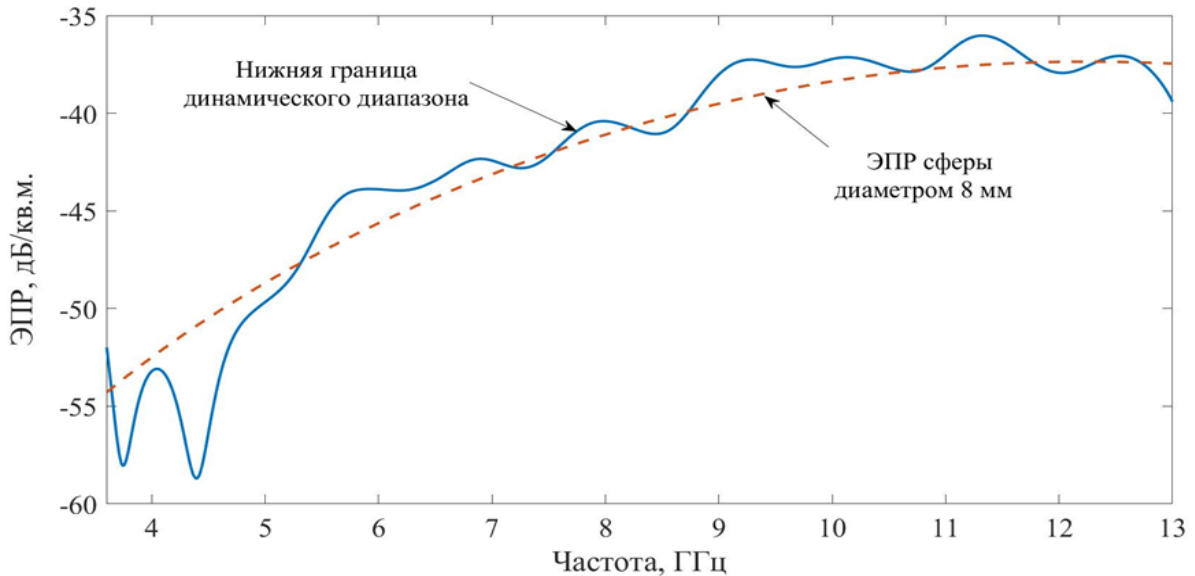


Рис. 3. Волновая зависимость нижней границы динамического диапазона макета широкополосной радиолокационной измерительной установки.

Анализ данных, представленных на рис. 3, показывает, что в диапазоне частот 2...13 ГГц (за исключением областей частотного диапазона, обусловленных аппаратными особенностями векторного анализатора цепей) нижняя граница динамического диапазона близка к расчётным значениям ЭПР сферы диаметром 8 мм.

Таким образом, экспериментально установлено, что на макете мобильной широкополосной радиолокационной измерительной установки можно проводить измерения в широкой полосе частот эффективной площади рассеяния объектов вплоть до уровня $5 \times 10^{-5} \text{ м}^2$ с погрешностью не более 3 дБ. Результаты измерений позволяют получать в полунатурных и натуральных условиях радиолокационные характеристики объектов и их двумерные инверсно-синтезированных радиолокационные изображения с высоким разрешением.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант №18-07-00026 А).

Литература

1. Компактные полигоны для измерения характеристик рассеяния объектов. Монография / Под ред. Н.П. Балабухи – М.: Наука, 2007.
2. Радиолокационные характеристики объектов. Методы исследования. Монография / Под ред. С.М. Нестерова. - М.: Радиотехника, 2015.
3. Громов А. Н., Золотарев В. А., Олейник В. М., Скоков П. Н. Получение радиолокационных характеристик объектов на мобильной широкополосной измерительной установке // «Журнал радиоэлектроники»: электронный журнал. 2019. №.11. <http://jre.cplire.ru/jre/nov19/7/text.pdf>.
4. Майзельс Е.Н., Торгованов. В.А. Измерение характеристик рассеяния радиолокационных целей / Под ред. М.А. Колосова. – М.: Сов. радио, 1972.
5. Кобак В.О. Радиолокационные отражатели. М., Сов. радио, 1975.

Для цитирования:

Олейник В.М., Скоков П.Н. Экспериментальная оценка чувствительности макета мобильной широкополосной радиолокационной измерительной установки. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2019. № 12. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/dec19/11/text.pdf>
DOI 10.30898/1684-1719.2019.12.11