

УДК 621.317.743.7

О.В. Прилипко, С.В. Орехов, О.В. Лезік

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

МІНІМІЗАЦІЯ ПОМИЛОК ВИМІРЮВАННЯ ВЕЛИЧИН ЕПР ОБ'ЄКТІВ, ЩО ДОСЛІДЖУЮТЬСЯ В БЕЗЛУННИХ КАМЕРАХ НВЧ, ЯКІ ОБУМОВЛЕНІ ФОНОМ

Розглядається вплив фону від навколишніх предметів підстильної поверхні і опори кріплення моделі (макета) цілі на точність вимірювання характеристик розсіювання, зокрема ефективної поверхні розсіювання, при проведенні статичних вимірювань. Приводяться розрахункові співвідношення, що дозволяють оцінити внесок фонові складові в сумарну похибку вимірювань. Викладаються рекомендації щодо зниження впливу фону на величину помилок вимірювання ефективної поверхні розсіювання радіолокаційних об'єктів.

Ключові слова: безлуна камера надвисоких частот, ефективна поверхня розсіювання.

Постановка проблеми та аналіз літератури

При проведенні вимірювань на радіолокаційних полігонах, наприклад в безлуних камерах (БЛК) надвисоких частот (НВЧ), характеристики розсіювання різних радіолокаційних об'єктів, і їх ефективних поверхонь розсіювання (ЕПР) зокрема, виникають похибки (помилки у вимірах), що носять або випадковий, або систематичний характер.

До випадкових похибок при вимірах ЕПР, що проводяться в безлуних камерах надвисоких частот, відносять помилки, що виникають через наявність фону, шумів приймача, зміни температури навколишнього середовища, що приводить до зміни параметрів вимірювальної установки, нестабільності джерел живлення та ін.

Відзначимо що основний внесок у величину випадкової похибки, вносять помилки що виникають через наявність фону [1]. Тому перед експериментатором виникає проблема визначення і врахування помилок вимірювання, обумовлених фоном, при цьому не менш важливою є також проблема мінімізації таких помилок.

Оцінимо стисло, якими можуть бути помилки виміру обумовлені фоном. При вимірюванні ЕПР складного радіолокаційного об'єкта опромінюється також опора, піраміда, що вкриває поворотний пристрій, стіни, підлога і стеля БЛК. Виходячи з цього, можна вважати, що поле у приймача \vec{E}_Π є сумою поля, розсіяного об'єктом \vec{E}_M , і поля сумарного фону \vec{E}_Φ маючого випадковий характер.

Будемо вважати, що приймальна антена приймає хвилі тільки однієї поляризації, наприклад вертикальної (уздовж осі ОУ). З урахуванням цього сумарне поле на цій поляризації має такий вигляд:

$$E_\Pi = \vec{a}_y^0 \times (\vec{E}_M + \vec{E}_\Phi) = E_M (1 + se^{j\phi}), \quad (1)$$

де $s = \left| \vec{a}_y^0 \vec{E}_\Phi / (\vec{a}_y^0 \vec{E}_M) \right|$ – модуль відношення амплітуд напруженості полів, створюваних фоном і моделлю на вході приймача; $E_M = \vec{a}_y^0 \vec{E}_M$ – складова поля розсіювання, паралельна \vec{a}_y^0 ; \vec{a}_y^0 – одиничний вектор, паралельний ОУ; ϕ – відносна різниця фаз між \vec{E}_Φ та \vec{E}_M .

Виміряна ефективна поверхня розсіювання розсіювача σ_Π визначатиметься так [1]:

$$\sigma_\Pi = k |E_\Pi|^2 = \sigma_M + \sigma_M (2s \cos \phi + s^2), \quad (2)$$

де k – коефіцієнт пропорційності; σ_M – дійсне значення ефективної поверхні розсіювання розсіювача; $\sigma_M (2s \cos \phi + s^2)$ – абсолютна похибка вимірювання ефективної поверхні розсіювання розсіювача.

З (2) слідує що максимальна похибка вимірювання виходить при $\phi = 0, \pi$.

Підставляючи дані значення в (2) і обчислюючи відносну похибку $\sigma_0 = \sigma_\Pi / \sigma_M$ в децибелах, отримаємо:

$$\sigma_0, \text{ дБ} = 10 \lg (1 \pm 2s + s^2). \quad (3)$$

На рис. 1 жирними лініями представлена залежність максимальних помилок вимірювань як функція відношення амплітуди сигналу фону до амплітуди сигналу відбитого від цілі [1, 2].

З даного графіка слідує, наприклад, що для того щоб уникнути помилок величиною більше 1дБ (що складає приблизно 25 % по підрахунку в ЕПР) необхідно, щоб співвідношення амплітуди сигналу фону до амплітуди сигналу розсіювача було не більше 0,1 (–20 дБ).

Мета статті – розробка рекомендацій щодо зниження впливу фону на величину помилок виміру характеристик розсіювання радіолокаційних об'єктів, зокрема ЕПР, в безлуних камерах надвисоких частот.

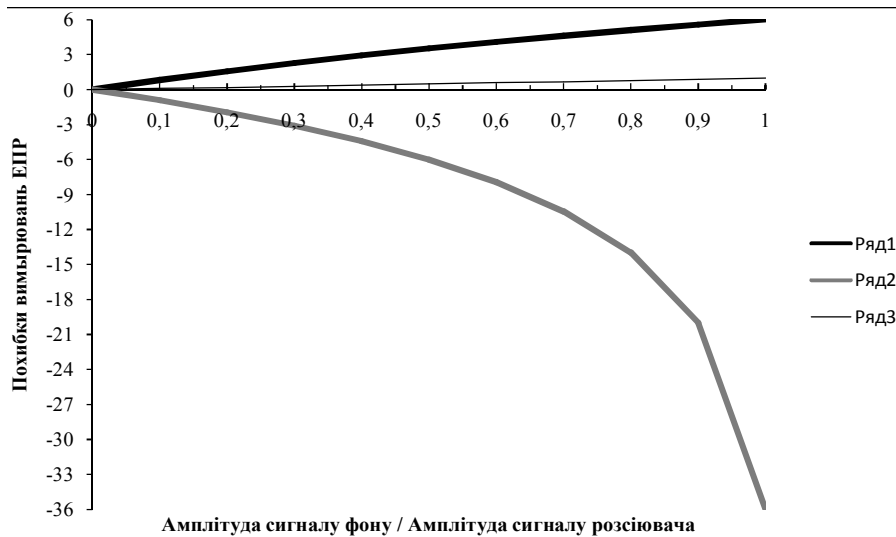


Рис. 1. Похибки вимірювань в функції відношення амплітуди сигналу фону до амплітуди сигналу відбитого від досліджуваного об'єкта

Спосіб мінімізації помилок вимірів, обумовлених фоном БЛК НВЧ

З метою мінімізації можливих помилок, обумовлених фоном, при проведенні в БЛК вимірювань ЕПР різних розсіювачів, враховуючи що φ – величина випадкова і вважаючи розподіленою її по рівномірному закону від 0 до 2π доцільно провести велику кількість вимірювань і усереднити отримані результати. При цьому математичне сподівання величини відносної похибки вимірювань $\hat{\sigma}_0$ буде прагнути до величини $(1 + s^2)$. На рис. 1 тонкою лінією показана залежність величини помилок вимірювань при проведенні статистичної обробки отриманих результатів. Аналіз рис. 1 показує що проведення багаторазових вимірювань і усереднення отриманих результатів зменшує величину можливих помилок. Так при проведенні вимірювань в безлунній камері надвисокої частоти Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна ефективної поверхні розсіювання еталонної сфери діаметром 0,1 м відношення фон/сигнал склало 0,33, отже (див. рис.1) максимальна відносна похибка вимірювання можуть скласти до 77 % ($\approx 2,5$ дБ) від рівня вимірюваної ЕПР. Застосування статистичної обробки отриманих результатів зменшує максимально можливі похибки в цьому випадку до 11 % ($\approx 0,45$ дБ).

З урахуванням вищесказаного (2) можна записати у вигляді $\hat{\sigma}_n = \left(\sigma_m + \sigma_m s^2 \right)$, де $\hat{\sigma}_n$ є фактично математичним сподіванням величини ЕПР вимірюваного розсіювача, який має справжню ЕПР що дорівнює σ_m при $n \rightarrow \infty$ (n – кількість проведених вимірювань).

Так як вимірювані величини σ_m являють собою суму великою кількістю незалежних в конкрет-

ний момент часу $t = \text{const}$ випадкових величин, то для опису закону розподілу миттєвих значень ЕПР розсіювача можливо застосувати центральну граничну теорему [3, 4] і на підставі її стверджувати що випадкова величина, яка спостерігається, підпорядковується нормальному розподілу. Це дозволяє визначити мінімальну кількість проведених вимірювань n величини σ_n при якому із заданою ймовірністю γ деякий довірительний інтервал містить в собі достовірну, але невідому характеристику, що спостерігається.

В нашому випадку $\bar{\sigma}_n$ – усереднена по декількох вимірах величина ЕПР розсіювача.

Для визначення порядку величин $\bar{\sigma}_n$ и $S1$ – стандартного відхилення випадкової величини σ_m було проведено 10 вимірювань ЕПР еталонної сфери діаметром 0,1 м, так як саме в цьому випадку відношення сигнал-шум, а отже, і точність вимірювань мінімальні. Вважаючи довірчий інтервал симетричним і підставивши отримані значення в рівність [4]:

$$\gamma = P \left\{ \left| \hat{\sigma}_n - \bar{\sigma}_n \right| < \beta \right\} = 2S_{n-1} \left(\frac{\beta \sqrt{n}}{S1} \right) - 1, \quad (4)$$

де $\beta = (1 - \gamma) \bar{\sigma}_n$ – точність статистичної оцінки; $S_{n-1}(\beta \sqrt{n}/S1)$ – функція розподілу Стьюдента з $(n-1)$ ступенями свободи та вирішуючи його відносно n , отримуємо потрібну кількість вимірювань, що необхідне для того щоб середнє $\bar{\sigma}_n$ нормально розподіленої випадкової величини відрізнялося б від свого математичного очікування $\hat{\sigma}_n$ не більше ніж на β з довірительною ймовірністю γ .

На рис. 2 представлена залежність довірительної ймовірності γ від кількості вимірювань n величини ЕПР еталонної сфери діаметром 0,1 м.

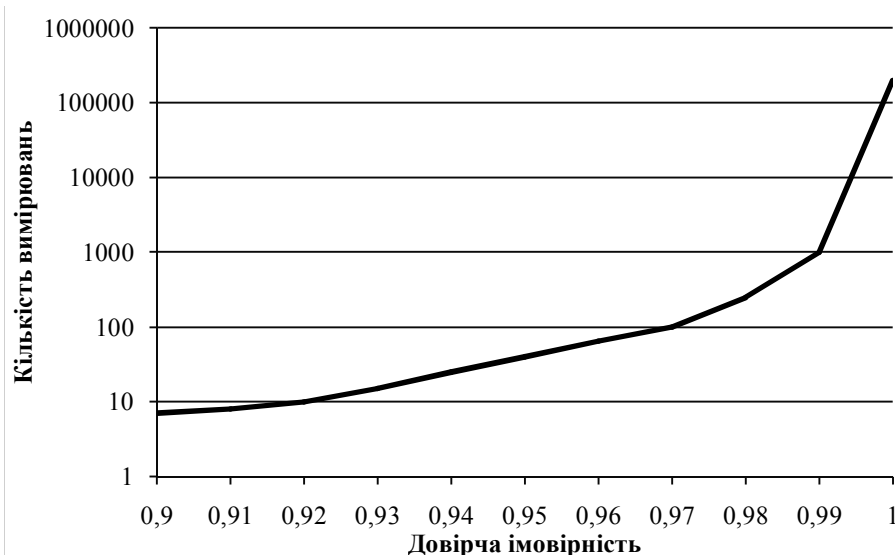


Рис. 2. Залежність довірчої імовірності від кількості вимірювань

З рис. 2 зокрема слідує, що для того, щоб вимірювана й усереднена величина розсіювача $\bar{\sigma}_n$ відрізнялася б від математичного сподівання вимірюваної ЕПР $\hat{\sigma}_n$ не більше ніж на 2-3 % необхідно провести не менше 105-282 вимірювань. При вимірюванні величин ефективної поверхні розсіювання розсіювачів експериментальним вимірювальним комплексом кількість вимірювань була обрана $n = 150$.

Подальше збільшення кількості вимірів не призводить до істотного збільшення точності вимірювань, але в той же час значно збільшує час проведення експерименту.

Висновки

Таким чином, запропонована методика дозволяє в декілька разів зменшити похибки, що обумовлені фоном, які виникають при вимірюваннях радіолокаційних характеристик розсіювання об'єктів на різноманітних радіолокаційних полігонах.

Крім того, даний підхід дозволяє з високою імовірністю визначати істинне значення ефективної поверхні розсіювання об'єктів, які досліджуються на радіолокаційних полігонах низького класу якості.

Список літератури

1. Майзельс Е.Н. Измерение характеристик рассеяния радиолокационных целей / Е.Н. Майзельс, В.А. Торгованов. – М.: Сов. радио, 1972. – 232 с.
2. Справочник по радиолокации. Основы радиолокации. Т. 1 / Под ред. Я.С. Ицхоки. – М.: Сов. радио, 1976. – 456 с.
3. Бронштейн И.Н. Справочник по математике / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544 с.
4. Абезгаус Г.Г. Справочник по вероятностным расчетам / Г.Г. Абезгаус, А.П. Тронь, Ю.Н. Копенкин, И.А.Коровина. – М.: Воениздат, 1970. – 536 с.

Надійшла до редколегії 25.12.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Сухаревський, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МИНИМИЗАЦИЯ ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ЕПР ОБЪЕКТОВ, ИССЛЕДУЕМЫХ В БЕЗЭХОВЫХ КАМЕРАХ СВЧ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ФОНОМ

А.В. Прилипко, С.В. Орехов, А.В. Лезик

Рассматривается влияние фона от окружающих предметов подстилающей поверхности и опоры крепления модели (макета) цели на точность измерения ЕПР, при проведении статических измерений. Приводятся расчетные соотношения, позволяющие оценить вклад фоновой составляющей в суммарную погрешность измерений. Излагаются рекомендации по снижению влияния фона на величину ошибок измерения эффективной поверхности рассеяния радиолокационных объектов

Ключевые слова: безэховая камера сверхвысоких частот, эффективная поверхность рассеяния.

ERROR MINIMIZATION IN MEASURING OF THE EEA OBJECTS THAT ARE INVESTIGATED IN SHF ECHOLESS CHAMBER (ANG) CAUSED BY BACKGROUND

A.V. Prylypko, S.V. Orehov, A.V. Lezik

We have investigated the influence of objects background and the support of the underlying surface mount aim model (mock), on the measuring accuracy of dissipation characteristics, including the effective surface echoing, during static measurements. A value calculations are performed to assess the contribution of the background component to the total measurement error. We present the recommendations how to reduce the background impact on the value of the background measurement errors of the radar facilities echoing characteristics.

Key words: superhigh frequency SHF echoless chamber (ANG), effective echoing area.