

УДК 621.396.96:621.311.001.57

Д.Ю. Свистунов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ПАРАМЕТРИ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ВІДБИТТІВ ВІД ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ТА ЕЛЕМЕНТІВ МІСЦЕВОСТІ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛЮВАННЯ ПАСИВНИХ ЗАВАД ДЛЯ РОБОТИ ОГЛЯДОВИХ РЛС

Стаття присвячена аналізу параметрів радіолокаційних відбиттів від земної поверхні, які потрібно враховувати при моделюванні пасивних завад. Результати аналізу цих параметрів можуть бути використані при імітації комплексної сигнально-завадової обстановки, створення якої необхідне для проведення ряду натурних і стендових випробувань на різних етапах розробки і експлуатації радіолокаційних станцій, при проведенні перевірки і настройки апаратури захисту від пасивних завад, приймальної апаратури радіолокаційних станцій, а також при проведенні тренувань операторів.

Ключові слова: імітаційна модель, пасивна завада, РЛС, радіолокаційні відбиття, місцеві предмети.

Вступ

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. Шляхом моделювання може бути вирішено значну частину завдань, які виникають на етапах розробки і експлуатації різних типів РЛС. Кількість таких завдань постійно збільшується. Одним з основних етапів моделювання є розробка відповідних адекватних вирішуваним задачам моделей. Для активних (первинних) РЛС особливу актуальність мають моделі, що імітують очікувані відбиття від елементів навколишньої місцевості в передбачуваних районах експлуатації.

Параметри радіолокаційного відбиття від земної поверхні визначаються характеристиками апаратури радіолокатора і земної поверхні. Основний вплив на характеристики відбиття від землі надають: довжина хвилі несучих коливань, випромінювана потужність, ширина спектру зонduючого сигналу, геометричні розміри антени і поляризація сигналу. До параметрів земної поверхні, що впливають на характеристики пасивної завади (ПЗ), відносяться: комплексна діелектрична проникність (провідність і діелектрична проникність), форма поверхні і ступінь її шорсткості, неоднорідність поверхневого шару до глибини, над якою із-за поглинання амплітуда падаючої радіохвилі стає знехтувано малою. Слід зазначити, що параметри земної поверхні змінюються не тільки в просторі, але і в часі із-за змін кліматичних і метеорологічних умов. Це породжує значні труднощі в створенні адекватних математичних моделей пасивних завад від поверхні землі. Названі труднощі багато авторів переборюють шляхом використання різних аналітичних моделей (описів) стохастичних процесів [1 - 3], що в багатьох випадках не відповідає статистиці реальних відбиттів від місцевих предметів.

Мета статті полягає в аналізі та визначенні найбільш важливих параметрів для адекватного моделювання пасивних завад, які обумовлюються впливом радіолокаційних відбиттів від нерівностей земної поверхні та елементів місцевості для реальних районів розміщення наземних оглядових РЛС.

Виклад основного матеріалу

Джерела пасивних завад можна розбити на три великі класи: поверхнево-протяжні, об'ємно-протяжні та точкові або зосереджені. До поверхнево-протяжних відносяться підстилаючі поверхні: земна і морська, характеристики яких визначаються станом земного покриву або моря. До об'ємно-протяжних джерел відносяться метеоутворення, які часто називають гідрометеорами, а також хмари металізованих стрічок (диполів). До точкових джерел ПЗ відносяться локальні неоднорідності атмосфери або зони аномального розповсюдження радіохвиль, які створюють інтенсивні відбиття від меж середовищ з різними показниками заломлення, від турбулентних утворень та від оптично спостережених об'єктів (так звані "ангели"), а також відбиттів від крупних наземних споруд (будівель, веж, мереж електропередачі і ін.).

Пасивні завади мають ту ж природу утворення, що і луна-сигнали від повітряних об'єктів. При аналізі впливу ПЗ, що заважає виявленню цілей та при моделюванні, відбиваючі властивості об'єктів, які створюють завади, характеризують питомою ефективною поверхнею розсіяння (ЕПР), а самі завади (відбиття) – щільністю розподілу вірогідності амплітуди і потужності флюктуаций ПЗ, спектрально-кореляційними характеристиками. Розглянемо основні параметри ПЗ у вигляді відбиттів від поверхні землі.

Параметри радіолокаційного відбиття від земної поверхні визначаються характеристиками як апаратури радіолокатора так і земної поверхні.

Основний вплив на характеристики відбиття від землі надають: параметри земної поверхні, довжина хвилі несучих коливань, випромінювана потужність, ширина спектру зонduючого сигналу, геометричні розміри антени, поляризація сигналу.

До параметрів земної поверхні, що впливають на характеристики ПЗ, відносяться: комплексна діелектрична проникність, форма поверхні і ступінь її шорсткості, неоднорідність поверхневого шару до глибини, на якій з причин поглинання амплітудою падаючої радіохвилі можна знехтувати.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів A1, A2, A3

Тип поверхні	A1	A2	A3
бетон	-49	32	20
пашня	-37	18	15
сніг	-34	25	15
ліс листяний, хвойний, літо	-20	10	6
ліс листяний, зима	-40	10	6
луг с висотою трави більш 0,5 м	-21	10	6
луг с висотою трави менш 0,5 м	-28	10	6
городські й сільські будівлі	-8,5	5	3

Слід зазначити, що параметри земної поверхні змінюються не тільки в просторі, але і в часі із-за змін кліматичних і метеорологічних умов. Це породжує значні труднощі в створенні адекватних математичних моделей пасивних завад, що виникають в результаті відбиття зондуючих сигналів від поверхні землі.

Інтегральною характеристикою відбивних властивостей поверхні є її **питома ефективна поверхня розсіяння** σ_0 (ЕПР). Повна ЕПР σ ділянки земної поверхні залежить від розмірів елементу розділення, який визначається рядом параметрів РЛС (шириною спектру зондуючого сигналу (ЗС), шириною діаграми спрямованості антени (ДСА)) та дальністю до опромінюваної ділянки. Залежно від довжини хвилі електромагнітних коливань місцевість розділяють на гладку і нерівну. До гладкої відноситься місцевість, у якої середнє значення нерівностей менш $\lambda / (16 \sin(\varphi))$, де φ – кут падіння електромагнітних коливань на поверхню (кут ковзання), а λ – довжина хвилі. Інакше місцевість вважається нерівною. Для всіх характерних довжин хвиль радіолокаційного діапазону, виключаючи метровий (35, 23, 14, 10 і 5 см), практично будь-яка місцевість, за винятком спокійної водної поверхні, в зоні, істотній для відбиття радіохвиль, відноситься до категорії нерівних.

Гладкі поверхні відбивають радіохвилі приблизно за законом геометричної оптики (згідно якому кут відбиття дорівнює куту падіння хвилі). Ідеально шорсткі поверхні розсіюють падаючу енергію приблизно рівномірно на всіх напрямках. Таким чином формується відносно інтенсивні радіолокаційні відбиття убік РЛС при будь-якому напрямі опромінювання. Усереднені залежності питомої ЕПР від кута ковзання φ та несучої частоти зондуючого сигналу для різних видів місцевості були отримані на основі аналізу експериментальних даних та опубліковані в джерелі [2]. Більшість експериментальних досліджень питомої ЕПР проводилися для кутів ковзання $\varphi > 10^0$. Для малих кутів ковзання σ_0 зазвичай отримують шляхом математичних розрахунків з використанням емпіричних співвідношень. Наприклад, кутова залежність питомої ЕПР в діапазоні робочих частот 3...100 ГГц при кутах ковзання $\varphi < 30^0$ для різних поверхонь, включаючи квазігладкі, шорсткі без рослинності і з рослинністю, а також для засніжених поверхонь та антропогенних територій, зазвичай представляється емпіричною формулою [2]:

$$\sigma_0(f, \varphi) = A1 + A2 \cdot \lg\left(\frac{\varphi}{20}\right) + A3 \cdot \lg\left(\frac{f}{10}\right), \quad (1)$$

де f – частота в ГГц; φ – кут ковзання в градусах.

Значення коефіцієнтів A1, A2, A3 для різних типів земної поверхні наведено в табл. 1.

Діелектрична проникність. Якщо дві ділянки поверхні мають однакові геометричну форму і розміри, то інтенсивніші відбиття спостерігаються від ділянки з більшою комплексною діелектричною проникністю, оскільки на такій ділянці наводяться інтенсивніші струми.

Оскільки в природі практично не зустрічаються об'єкти з тотожними геометричними характеристиками, то вказану відмінність нелегко встановити експериментально. Ефективна діелектрична проникність ділянок земної поверхні дуже сильно залежить від вмісту вологи, оскільки відносна діелектрична проникність води змінюється приблизно від 60 (для хвилі 3 см) до 80 (для хвилі 10 см) і більш, тоді як діелектрична проникність найбільш сухих ґрунтів менше 8. Таким чином, зміна об'ємного вологовмісту ґрунту в межах від 0,05 г/см³ (сухий ґрунт) до 0,3 г/см³ (вологий ґрунт) приводить до зростання ЕПР на 7...8 Дб [4].

Нерівності земної поверхні. Нерівності поверхонь також дуже важко піддаються математичному опису і тому зазвичай характеризуються якісно. Наприклад, для шорстких поверхонь без рослинного покриву (ґрунти з різними видами механічної обробки) залежність питомої ЕПР від ступеня нерівності поверхні визначається як кутом ковзання, так і довжиною хвилі λ . При $k\sigma_h < (1,5...2)$, де $k=2\pi/\lambda$ – хвилеве число, питома ЕПР σ_0 пропорційна $\sin^3\varphi$ та λ^{-4} . При цьому результати розрахунків і експериментів узгоджуються задовільно [2]. При великих значеннях $k\sigma_h$ поверхня стає практично дифузною розсіючою, при цьому σ_0 пропорційна $\sin\varphi$, а також λ^{-1} .

Достатньо скланим процесом є зворотне розсіяння радіохвиль земною поверхнею, покритою снігом. Для сухого снігу визначним є механізм об'ємного розсіяння, а внеском розсіяння від межі повітря-сніг можна знехтувати. З підвищенням вмісту вологи в снігу відбувається швидке зменшення величини питомої ЕПР. При цьому змінюється і механізм розсіяння, оскільки визначним стає поверхневе розсіяння. Дані про кутові і частотні залежності ЕПР поверхонь, покритих снігом, в сантиметровому діапазоні хвиль можна знайти в [3].

Для земних поверхонь, порослих рослинністю, найменші ЕПР мають слабкі рослинні покриви (чагарник), для яких при $\varphi < 10^0$ величина питомої ЕПР складає -20...-25 дБ. Розсіяння при цьому є дифузним з кутовою залежністю від $\sin\varphi$ і дуже слабкою частотною залежністю. Найбільші ЕПР мають густі лісові покриви, що дозволяє зробити висновок про приблизну пропорційність інтенсивності відбиття від біомаси рослинного покриву.

Існує також помітна сезонна залежність питомої ЕПР рослинних покривів, яка визначається як зміною біомаси, так і зміною вмісту вологи. У весінньо-літній період рівень відбиття зростає на 10...20 дБ в порівнянні з осінньо-зимовим періодом, причому максимальні значення доводяться на червень-липень. значний вплив на питому ЕПР рослинного покриву роблять погодні умови. Зворотне розсіяння після дощу зростає приблизно на 3 дБ для трави і на 5 дБ для лісу.

Поляризація електромагнітних коливань зондуючого сигналу. Поляризація електромагнітних коливань випромінюваного сигналу практично не впливає на величину σ_0 для більшості типів місцевості [2]. Але в цілому при горизонтальній поляризації значення σ_0 виявляються (особливо для метрового діапазону) меншими, ніж при вертикальній поляризації, для нерівної поверхні різниця при кутах ковзання $\varphi < 30^\circ$ може складати 2...3 дБ.

Відбиття, що виходять при перехресній поляризації (при вертикальній поляризації випромінюваної хвилі і горизонтальній поляризації що приймається або навпаки), на 7...12 дБ менше, ніж при співпадаючій. Це справедливо для всіх типів поверхонь, за винятком міст і гір, де складна конфігурація об'єктів сильно деполаризує відбитий сигнал.

Розподіл щільності вірогідності флюктуації амплітуди (потужності) відбиття від поверхні землі. Відбиття від поверхні землі є стохастичними процесами. Причому в межах елемента розділення РЛС вони, як правило, є стаціонарними і в більшості випадків – гаусовими з інтервалом кореляції в десятки долі секунди. Це обумовлено тим, що результуючу луну-коливання можна розглядати як векторну суму хвиль, перевипромінюються від великої кількості окремих незалежних (у тому числі, що переміщуються) розсіюючих елементів, розміщених у розділюючому об'ємі. При цьому переміщення розсіюючих елементів створюють зміни у відносній довжині шляху розповсюдження електромагнітних хвиль (ЕМВ) від РЛС до окремих елементів. Внаслідок цього відбуваються зміни відносній різниці фаз між окремими складовими луна-коливань, а результуюче луна-коливання флюктує. Оскільки більшість елементарних розсіювачів мають приблизно однакову ЕПР, є незалежними і їхня кількість в елементі розділення достатньо велика, то миттєві значення відбитого луна-коливання розподілені по нормальному закону (теорема Ляпунова).

В межах такту зондування відбиття від поверхні землі є, як правило, нестационарним процесом, оскільки амплітуда (потужність) відбиття визначається типом підстилаючої поверхні та рельєфом місцевості, які міняються із зміною дальності. При розгляді щільності розподілу вірогідності амплітуди флюктуацій відбиття від поверхні землі зазвичай вважають, що розподіл вірогідності результуючої амплітуди у відбитого коливання підкоряється закону Релея:

$$P(u) = (u / \sigma^2) \cdot \exp(-u^2 / (2\sigma^2)), \quad (2)$$

де σ^2 – дисперсія флюктуацій амплітуди.

Фаза луна-коливань, що приймаються, в цьому випадку розподіляється по рівномірному закону.

Релеєвський розподіл характерний для місцевостей, покритих густою рослинністю. Флюктуюча складова при цьому пов'язана в основному з рухом елементарних відбивачів під дією вітру, а регулярна складова практично відсутня.

У тому випадку, коли в елементі розділення існує один домінуючий об'єкт, що формує потужне луна-коливання з малою випадковою складовою, а також ряд об'єктів, що створюють відбиття з меншою інтенсивністю і зумовлюють в основному випадковість результуючої амплітуди, використовують розподіл Райса (узагальнений закон Релея):

$$P(u) = (u / \sigma^2) \cdot \exp(-(u^2 - a^2) / (2\sigma^2)) \cdot I_0(au / \sigma^2), \quad (3)$$

де a – регулярна складова луна-коливання; I_0 – функція Бесселя нульового порядку від уявного аргументу.

Потужність P такого результуючого луна-коливання розподілена по експоненційному закону:

$$P(p) = \frac{1}{\bar{P}} \exp\left[-\frac{P}{\bar{P}}\right], \quad (4)$$

де \bar{P} – середня потужність цього коливання.

Оскільки величина ЕПР визначає потужність відбитого коливання, то і закон розподілу значення ЕПР представляють у вигляді:

$$P(\sigma_0) = \frac{1}{\bar{\sigma}_0} \exp\left[-\frac{\sigma_0}{\bar{\sigma}_0}\right], \quad (5)$$

де $\bar{\sigma}_0$ – середнє значення ЕПР.

При малих розмірах елемента розділення ($\tau_n < 0,5$ мкс) і малих кутах ковзання ($\varphi < 5^\circ$) експериментальні дані про розподіли питомої ЕПР відрізняються від моделей Релея або Райса, в яких вірогідність великих значень ЕПР виявляється нижчою, ніж спостережувані в експерименті. У цих умовах використовують логнормальний розподіл вірогідності σ_0 [5]

$$P(\sigma_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi s \sigma_0}} \exp\left[-\frac{(\ln(\sigma_0 / \mu))^2}{(2s^2)}\right], \quad (6)$$

де μ – медіанне значення σ_0 ; s – середньоквадратичне відхилення $\ln \sigma_0$. Цей розподіл на відміну від однопараметричного релеєвського характеризується двома параметрами, що дозволяє точніше апроксимувати експериментальні дані розподілу при понижених ймовірностях реалізації амплітуди (при амплітудах вище за медіанне значення).

Спектрально-кореляційні характеристики відбиття від поверхні землі. Закон розподілу амплітуди (потужності) флюктуацій ПП дозволяє оцінити вірогідність появи тих або інших значень амплітуди (потужності) перешкоди. Проте він не дає відповідь на питання: як швидко відбуваються флюктуації вказаних величин. Для характеристики випадкових змін параметрів луна-коливань в часі використовують функцію автокореляції:

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot u(t - \tau) dt. \quad (7)$$

Зазвичай вважають, що для стаціонарного ергодичного випадкового процесу, яким, як правило, є ПП в елементі розділення, функція автокореляції не залежить від часу t , а є функцією величини t .

Інтервал часу $\tau = \tau_0$, при якому автокореляційна функція зменшується до певного достатньо малого значення, називають часом кореляції. Значення флюктууючої амплітуди, розділені інтервалом $\tau > \tau_0$, вважаються незалежними. У ряді випадків використовують нормавану АКФ:

$$\rho(\tau) = \frac{R(\tau)}{R(0)} = \frac{R(\tau)}{\bar{u}^2}, \quad (8)$$

де \bar{u}^2 – середнє значення квадрату флюктууючої амплітуди.

АКФ пов'язана з енергетичним спектром $S(f)$ комплексного стаціонарного випадкового процесу відповідно до теореми Хінчина перетвореннями Фур'є:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau; \quad (9)$$

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S(f) e^{j2\pi f\tau} df. \quad (10)$$

Наявність такого зв'язку є слідством того, що як одна, так і інша характеристики рівнозначно описують даний процес з погляду швидкості його протікання. Таким чином, час кореляції τ_0 зв'язано обернено пропорційною залежністю з шириною спектру флюктуацій.

Оскільки енергетичний спектр пасивної завади має майже ту ж структуру, що і спектр зондууючого сигналу, то при опромінюванні поверхні землі когерентною пачкою коротких радіоімпульсів, спектр відбиттів, як і спектр зондууючого сигналу, буде гребінчастим, але з розширеними гребенями.

Основними чинниками, що впливають на розширення спектру ПЗ, для наземних РЛС є:

- взаємні хаотичні переміщення елементарних відбивачів в імпульсному об'ємі;
- "оновлення" імпульсного об'єму за рахунок обертання антени РЛС при огляді простору;
- нестабільна робота елементів РЛС, що приводить до руйнування когерентності сигналу.

Вважається, що ці чинники незалежні, і тоді енергетичний спектр флюктуацій ПЗ $G_{\text{пп}}(f)$ визначається як нормована згортка відповідних частинних спектрів:

$$G_{\text{пп}}(f) =] G_{\text{отр}}(f) \nabla G_{\text{ант}}(f) \nabla G_{\text{ан}}(f) [, \quad (11)$$

де $\nabla,] [$ – символи згортки і нормування відповідно; $G_{\text{отр}}(f)$ – енергетичний спектр відбиттів від джерел ПЗ; $G_{\text{ант}}(f)$ – спектр обертання антени; $G_{\text{ан}}(f)$ – спектр, обумовлений нестабільностями роботи приймально-передавальної апаратури РЛС.

Під енергетичним спектром відбиття від джерел ПЗ ($G_{\text{отр}}(f)$) розуміється спектральна щільність потужності при монохроматичному безперервному опромінюванні.

У моделюванні використовують різні апроксимації залежності $G_{\text{пп}}(f)$, але найчастіше обгинаючу заважаючого енергетичного спектру відбиття представляють гаусовським законом:

$$G(f) = G_0 \exp(-af/f_0)^2, \quad (12)$$

де G_0 – густина розподілу потужності відбиття від заважаючого джерела на нульовій частоті флюктуацій; f_0 – робоча частота несучої зондууючого сигналу РЛС; a – безрозмірна величина, що характеризує відносну стабільність відбиття. Значення a змінюються від $3,9 \cdot 10^9$ для рідкісного лісу в безвітряний день і до $2,8 \cdot 10^5$ для дощових хмар.

Проте слід зазначити, що така апроксимація не є точною для реальних енергетичних спектрів відбиття від поверхнево-розподілених об'єктів і використовується багатьма авторами для спрощення математичних розрахунків при моделюванні. Експериментальні дані спектрів відбиття від земної поверхні, дозволяють зробити висновок про наявність в них складової, обумовленої розсіянням від стійких в часі відбивачів (горби, скелі, будівлі і тому подібне). Ця складова у ряді випадків може помітно перевищувати флюктууючу компоненту. Найбільш помітний контраст між рівнями регулярної і флюктууючої складових в довгохвильовій частині сантиметрового діапазону.

Аналіз показує, що для горба, порослого травою, співвідношення спектральної щільності регулярної і флюктууючої складових досягає 50 дБ. В той же час для лісу це співвідношення навіть при слабкому вітрі (близько 2 м/с) не перевищує 20...30 дБ, а при його посиленні стає ще менше.

Зміряні спектри відбитих землею поверхнею луна-коливаний за наявності регулярної складової, обумовленої розсіянням хвиль від нестабільних в часі об'єктів, визначають як [4]:

$$G_1(\Omega) = a^2 \delta(0) + G(\Omega), \quad (13)$$

де a^2 – коефіцієнт, рівний відношенню потужностей регулярної і флюктууючої складових розсіяної хвилі; $\delta(0)$ – дельта-функція.

Як правило, з укороченням довжини хвилі несучої і зростанням швидкості вітру величина a^2 зменшується для всіх типів поверхонь з рослинним покривом. Для лісу залежність a^2 від швидкості вітру, отримана в сантиметровому діапазоні хвиль, рівна:

$$a^2 \approx 315 \bar{v}^{-2.9}, \quad (14)$$

де \bar{v} – середня швидкість вітру, м/с.

Спектральна щільність потужності флюктуацій амплітуди на нульовій частоті практично не залежить від довжини хвилі, дуже слабо виявляється і сезонна залежність. Це пояснюється тим, що основний внесок тут визначається стабільними відбивачами: нерівностями рельєфу, стовбурами дерев і ін.

Найбільший інтерес представляють енергетичні спектри флюктууючої частини відбиття (другий доданок у формулі 13). Слід зазначити, що експериментально зняті спектри відбиття від земної поверхні відрізняються від загальноприйнятої моделі Гауса на частотах понад 10 Гц і можуть бути представлені як [4]:

$$G(F)=G_0 [1+ (F/\Delta F)^n]^{-1}, \quad (15)$$

де F – поточна частота; G_0 – спектральна щільність потужності флюктуаций на нульовій частоті; ΔF – параметр, що має значення ширини спектру по рівню – 3дб, який залежить від робочої частоти, швидкості вітру і типу рослинного покриву.

Показник ступеню n зазвичай знаходиться в інтервалі $2 \leq n \leq 3$, досягаючи значення $n=2$ в дуже окремих випадках, наприклад, при сильному поривчастому вітрі.

В основному параметр n залежить від середньої швидкості вітру \bar{v} (м/с). Цю залежність апроксимують виразом:

$$n = \frac{2(\bar{v} + 2)}{\bar{v} + 1}. \quad (16)$$

Залежність ширини спектру ΔF від швидкості вітру \bar{v} та довжини хвилі λ представляють виразом

$$\Delta F = 1,23 (3,2/\lambda) \bar{v}^{1,3}. \quad (17)$$

Ще одним з основних чинників, які визначають спектр ПЗ, є обертання антени РЛС.

Спектр обертання $G_{\text{ант}}(f)$ визначається діаграмою спрямованості і швидкістю обертання антени, а точніше $G_{\text{ант}}(f)$, однозначно визначається видом розподілу поля у розкриві антени $P(x/l)$ і параметрами $b_0=x/l$, $T_0=2\pi w^{-1}$:

$$G_{\text{ант}}(f) = P(f/F_0) \nabla P(f/F_0) [^2], \\ F_0 = 2\pi l / (\lambda T_0) = \omega \beta_0^{-1}, \quad (18)$$

і обмежений на частотній осі: $G_{\text{ант}}(f) = 0$ при $|f| \geq f_0$.

Відмінності $G_{\text{ант}}(f)$ і P_d при різних $P(x)$ зменшуються, якщо фіксувати не розмір антени L , а ширину ДСА β_a . Як стверджується в джерелі [2], гауссова апроксимація ДСА і (або) спектру обертання антени РЛС приводить до завищеної оцінки величини P_d .

Спектр нестабільностей роботи приймально-передавальної апаратури РЛС, як правило, порівняно вузький: $G_{\text{ап}}(f) [\text{Гц}] \leq 2/\lambda [\text{м}]$ [2] і може бути у багатьох випадках апроксимований гаусівською кривою.

ВИСНОВКИ

Розглянуті у статті параметри пасивних завад, є слідством відбиттів від земної поверхні та об'єктів місцевості, що оточують РЛС. Ці параметри можуть бути використані для адекватного моделювання реальної сигнальної та завадової обстановки. За допомогою наведених параметрів найбільш повно можуть бути враховані затінення і відбиваючі властивості земної поверхні, рефракція й дифракція електромагнітних хвиль, а також специфіка конкретної позиції, на якій розгорнута РЛС у створюваних відповідних імітаційних моделях. Такі моделі можливо використовувати для проведення ряду натурних і стендових випробувань на різних етапах розробки і експлуатації радіолокаційних станцій, при проведенні перевірки і настройки апаратури захисту від пасивних завад, приймальної апаратури РЛС, а також при проведенні тренувань операторів.

Список літератури

1. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Под ред. Я.Д. Ширмана. - М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.
2. Кулемин Г.П. Рассеяние миллиметровых радиоволн поверхностью Земли под малыми углами места / Г.П. Кулемин, В.Б. Разказовский. – К.: Наук. Думка, 1987. – 232 с.
3. Справочник по радиолокации в 4-х т. / Под ред. М. Скольника: Пер. с англ. – Т.1. - М.: Сов. радио, 1976. - 456 с.
4. Кулемин Г.П. Радиолокационные помехи от моря и суши РЛС сантиметрового и миллиметрового диапазонов / Г.П. Кулемин // Сборник трудов международной научно-технической конференции “Современная радиолокация”. – К., 1994. - С. 23-29.
5. Бакулев П.А. Методы и устройства селекции движущихся целей / П.А. Бакулев, В.М. Степин. - М.: Радио и связь, 1986. - 288 с.

Надійшла до редколегії 18.11.2008

Рецензент: д-р техн. наук, ст. наук. співр. В.О. Василюк, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ПАРАМЕТРЫ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОТРАЖЕНИЙ ОТ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ЭЛЕМЕНТОВ МЕСТНОСТИ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАСИВНЫХ ПОМЕХ ДЛЯ РАБОТЫ ОБЗОРНЫХ РЛС

Д.Ю. Свистунов

Статья посвящена анализу параметров моделирования мешающих радиолокационных отражений от земной поверхности. Результаты анализа параметров таких пассивных помех могут быть использованы при имитации комплексной сигнально-помеховой обстановки, которая необходима для проведения ряда натурных и стендовых испытаний на разных этапах разработки и эксплуатации радиолокационных станций, при проведении проверки и настройки аппаратуры защиты от пассивных помех, приемной аппаратуры РЛС, а также при проведении тренировок операторов.

Ключевые слова: имитационная модель, пассивная помеха, РЛС, радиолокационные отражения, местные предметы

PARAMETERS OF MIXING REFLECTIONS FROM SURROUNDING LOCALITY IN THE TASKS OF DESIGN OF WORK OF SURVEY RLS

D.J. Svistunov

The article is devoted the analysis of parameters for the design of mixing radio-location reflections from an earthly surface. Can be drawn on the results of analysis of such passive noise parameters during the imitation of complex interference-signaling situation necessary for the leadthrough of row of model and stand tests on different design and exploitation of the radio-location stations times, during the leadthrough of verification and tuning of apparatus of protecting from passive hindrances, receiving apparatus RLS, and also during the leadthrough of trainings of operators.

Keywords: simulation model, passive hindrance, RLS, hypsography, radio-location reflections, local objects.