

# Зв'язок, радіотехніка, радіолокація, електроніка

УДК 621.396.96:621.311.001.57

М.Р. Арасланов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ДИНАМІЧНА ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ВІДБИТТІВ ВІД МІСЦЕВИХ ПРЕДМЕТІВ

*Статтю присвячено розробці динамічної стохастичної імітаційної моделі міжперіодно корельованих пасивних радіолокаційних завад від земної поверхні. Розроблена модель може бути використаною при імітації комплексної сигнально-завадової обстановки для проведення ряду натурних і стендових випробувань на етапах розробки і експлуатації радіолокаційних станцій, при перевірках і настройках, а також при проведенні тренувань операторів.*

**Ключові слова:** імітаційна модель, пасивна завада, РЛС, рельєф місцевості, 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. Для перевірки, настройки пристроїв і алгоритмів, що розробляються для захисту РЛС від таких перешкод, моделі повинні бути динамічними.

Під динамічною імітаційною моделлю відбиття від місцевих предметів розуміється цифрова реалізація, що імітує амплітуди відбитих коливань на виході фазового детектора в кожному періоді посилок сигналу зондування імпульсних РЛС для кожного елементу розділення по дальності. Така модель потрібна при імітації комплексної сигнально-завадової обстановки для проведення ряду натурних і стендових випробувань на етапах розробки і експлуатації РЛС, при перевірках і настройках, а також при проведенні тренувань операторів. Розглянемо особливості створення такої моделі на прикладі оглядової РЛС.

Параметри радіолокаційного відбиття від земної поверхні визначаються характеристиками апаратури радіолокатору і земної поверхні. Основний вплив на характеристики відбиття від землі надають: довжина хвилі несучих коливань, випромінювана потужність, ширина спектру сигналу зондування, 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.

Тому, **мета статті** полягає в розробці адекватної імітаційної моделі міжперіодно корельованих пасивних завад від земної поверхні.

### Виклад основного матеріалу

Розглянемо пряме імітаційне моделювання вхідних дій на систему міжперіодної обробки двокоординатних РЛС оглядового типу. Вважатимемо, що власні шуми приймача і ПЗ є адитивною сумішшю корельованих (міжканально, міжперіодно) і некорельованих вибірок процесів, що отримують через інтервал часу, рівний періоду посилок  $T_p$ . Тому модель ПЗ пропонується створювати шляхом міжперіодного повторення тих же вибірок випадкових чисел для відповідних елементів розділення з подальшим додаванням декорелюючих добавок і модуляцією. Розмірність масиву вибірок залежить від потрібної точності імітації параметрів ПЗ. Фазовий множник через міжперіодну корельованість перешкоди задається у вигляді постійної величини, або із зсувом від періоду до періоду, який визначається частотою Доплера.

Вважається, що кожна вибірка відповідає певному азимутальному напрямку (розстановка вибірок по азимуту). Для цих же азимутних напрямів розраховуються вибірки значень діаграми спрямованості антени (ДСА) РЛС на випромінювання і прийом в горизонтальній й вертикальній площинах, які в подальшому використовуються для зважування розставлених за азимутом вибірок випадкових чисел. Наступну черезперіодну реалізацію (через час  $T_n$ ) одержують з тих же вибірок випадкових чисел і діаграми спрямованості, але з взаємним зсувом на розрахункову величину (враховуючи швидкість огляду і величину  $T_n$ ) і з додаванням декорелюючих добавок.

Чергова реалізація для наступного кільця дальності виходить шляхом використання нової некорельованої вибірки випадкових чисел з дисперсією, яка відповідає потужності перешкоди в даному елементі розділення і додаткової модуляції, що враховує обертання антени РЛС, нестабільності роботи тракту прийому та передачі, інші декорелюючі чинники.

Узагальнену структурну схему алгоритму формування запропонованої моделі пасивних завад у вигляді відбиття від місцевих предметів наведено на рис. 1. Модель є відносно простою в реалізації і прийнятною по достовірності отримуваних результатів, що забезпечується за рахунок застосування цифрової карти місцевості (ЦКМ) і використання опублікованих експериментальних даних про питому ефективну поверхню розсіювання (ЕПР)  $\sigma_0$  конкретних видів місцевості і відповідних спектрально-кореляційних властивостей завади.

Розглянемо докладніше основні принципи і співвідношення, які використовуються в моделі.

Модель формує масив значень очікуваної потужності ПЗ у вигляді відбиття від поверхнево-розподілених джерел в районі дислокації РЛС в полярній системі координат  $\langle r, \beta \rangle$ . Розрахунок інтенсивності перешкоди проводиться для кожного елемента розділення.

Використовуються вибірки профілів рельєфу місцевості на заданих азимутних напрямках від точки стояння РЛС, отримані з ЦКМ і скорегованих відповідно до плану позицій, складеного для даної РЛС (блок 1). Дискретність вибірок рельєфу по азимуту не повинна бути більше половини ширини ДСА в горизонтальній площині  $\Delta\beta_{0.5p}$ . Кожному елементу масиву вибірок рельєфу привласнюється значення питомої ЕПР відповідно

до типу поверхні, яка визначається за даними ЦКМ, а також частоти несучої і поляризації зонduючого сигналу РЛС.

Для розрахунку потужності ПЗ вводиться також масив значень результуючої ДСА РЛС, заздалегідь розрахованих для кожного заданого азимутного напрямку (блок 3).

При визначенні поверхні, яка освітлюється зонduючим сигналом, використовується метод геометричної оптики, тобто перевіряється можливість радіолокаційного затінювання кожної ділянки місцевості вершинами, що знаходяться між РЛС і ділянкою, що перевіряється.

Для РЛС, що здійснюють рівномірний круговий огляд по азимуту, при розрахунку відносної потужності ПЗ від елемента розділення, що знаходиться на відстані  $r$  від РЛС використовується співвідношення [1]:

$$P_{пп} = \frac{P_i G_{прд}(\epsilon) A_{пр}(\epsilon) \sigma_{пп}}{P_{пр\min} (4\pi)^2 r^4 \eta}, \quad (1)$$

де  $P_i$  - ефективна імпульсна потужність зонduючого сигналу;  $P_{пр\min}$  - чутливість приймача;  $G_{прд}(\epsilon) = G_{\max} F^2(\epsilon)$  - підсилення антени РЛС на випромінювання у напрямі кута місця  $\epsilon$ ;  $A_{пр}(\epsilon) = (G_{\max} \lambda^2 / (4\pi)) \cdot F^2(\epsilon)$  - ефективна площа антени РЛС в режимі прийому з напрямку кута місця  $\epsilon$ ;  $F(\epsilon)$  - нормована діаграма спрямованості антени РЛС (по полю) в кутomisній площині, яка формується з урахуванням впливу Землі;  $\lambda$  - довжина хвилі несучої зонduючого сигналу РЛС;  $\sigma_{пп}$  - ефективна поверхня розсіювання джерела ПЗ;  $r$  - відстань від РЛС до ділянки поверхні;  $\eta$  - коефіцієнт втрат.

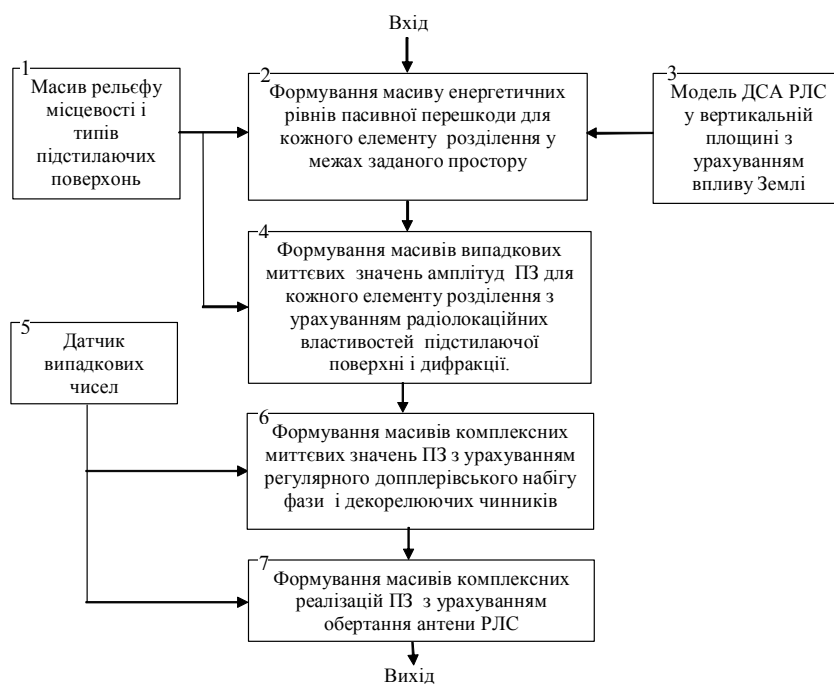


Рис. 1. Узагальнена структурна схема формування моделі пасивних завад у вигляді відбиття від місцевих предметів

Ефективна поверхня розсіювання джерела ПЗ визначається площею елемента розділення, кутом ковзання і величиною питомої ЕПР  $\sigma_0$ :

$$\sigma_{\text{пл}} = \sigma_0 \times \Gamma \times \beta_{0,5p} \times \frac{\tau_i}{2} \times \frac{1}{\cos \phi}, \quad (2)$$

де  $\beta_{0,5p}$  - ширина ДСА РЛС в горизонтальній площині по рівню половинної потужності;  $\tau_i$  - тривалість зондувального імпульсу;  $\phi$  - кут ковзання падаючої хвилі.

У випадку РЛС з широкосмуговим зондувальним сигналом замість  $\tau_i$  використовують  $\tau_{\text{ст}}$  - тривалість імпульсу після його стиснення в оптимальному фільтрі.

Таким чином, енергетична насиченість ПЗ у вигляді відбиття від поверхні Землі в  $j$ -му елементі розділення з урахуванням формули (1) визначається співвідношенням:

$$P_{\text{ппі}} = \frac{P_i G_{\text{max}}^2 F^4 (\epsilon_j) \lambda^2 \beta_{0,5p} \tau_i \sigma_j^0}{2(4\pi)^3 P_{\text{пр min}} r_j^3 \eta \cos \phi_j}. \quad (3)$$

Питома ЕПР відповідної ділянки земної або морської поверхні  $E_{oj}$  визначається з урахуванням кута ковзання падаючої хвилі згідно зі співвідношенням, яке наведено в [4].

Розрахувавши енергетичну насиченість відбиття від кожного "освітленого" елемента розділення на кожному заданому азимутному напрямі, маємо енергетичний рельєф ПЗ у вигляді масиву значень її потужності (блок 2).

Далі проводиться нормування розрахованих рівнів ПЗ з метою врахування реальних втрат енергії сигналу в тракті РЛС і середовищі розповсюдження радіохвиль. Нормування рівнів ПЗ здійснюється з використанням експериментальних даних, наведених в джерелах [2 - 5].

Отримана енергетична характеристика ПЗ у вигляді рівнів відбиття від елементів розділення підстилюючої поверхні є інтегральним параметром, що характеризує дисперсію флюктуацій прийнятих коливань ПЗ від кожної елементарної ділянки.

Тепер необхідно набути миттєвих значень реалізацій завади  $u = u(t_i)$  у фіксовані моменти часу  $t_i$  (блок 4). Аналіз статистичних властивостей завади від поверхнево-протяжних об'єктів показав [2], що для більшості оглядових РЛС такі завади практично завжди можна вважати стаціонарними в елементі розділення протягом часу обробки (внутрішньої, міжперіодної і навіть міжоглядової). Виняток становлять лише завади від морської поверхні для випадку міжоглядової обробки.

Розглянемо поверхнево-розподілений об'єкт у вигляді суші, або морської поверхні, що складається з сукупності елементарних відбивачів. При випадковості структури об'єкту і незалежності елементарних відбивачів в елементі розділення результат перетворення (відбиття) зондувального сигналу цим складним поверхневим об'єктом буде випадковий, тобто результуюче ехо-коливання є векторною сумою перемішаних хвиль від великої кількості окремих

незалежних (у тому числі і що переміщуються) розсіюючих елементів, розміщених у об'ємі розділення.

Таким чином, спостережуване на вході антенної системи РЛС ехо-коливання утворюється в результаті підсумовування великого числа відбитих (перетворених) елементарних коливань з різними початковими фазами і доплерівськими частотами. Амплітуда цього коливання, зазвичай звана модулюючим множником  $V(t)$ , є комплексною величиною. Для радіоімпульсів малої (в порівнянні з часом кореляції флюктуації) тривалості випадкову функцію  $V(t)$  замінюють випадковою величиною

$$\dot{V} = |V| \cdot e^{-j \arg V} = b \cdot e^{-j\beta}. \quad (4)$$

Це приводить до огинаючої ехо-коливання у вигляді

$$\dot{X}(t, \beta) = bX(t)e^{-j\beta} \quad (5)$$

з випадковими, незалежними початковою фазою  $\beta = \arg V$  і амплітудним множником  $b = |V|$ .

Функція

$$\dot{X}(t) = u(t - t_3) e^{-j2\pi F_d t} \quad (6)$$

не містить випадкових параметрів і визначається часом затримки (приходу) відбиття  $t_3$  і частотою Доплера  $F_d$ . Оскільки для систем міжперіодної обробки інформативним є набір фази за період повторення, то фазу коливання завади чергової  $n$ -ої реалізації визначатимемо як  $\phi_n = n\Delta\phi$ , где  $\Delta\phi = 2\pi F_d T_{\text{п}}$ . Функція  $u(t - t_3)$  задана в моделі масивом потужності відбиття від кожного елемента розділення

$$u(t - t_3) = \sqrt{P_{jk}}. \quad (7)$$

Фазовий розподіл зазвичай вважається рівномірним  $p(\beta) = 1/2\pi$ .

Амплітудний розподіл  $p(b)$  зазвичай задається релеєвським розподілом щільності вірогідності для морської поверхні і земних ділянок, покритих густиною рослинністю. Для ділянок земної поверхні, що мають великомасштабні нерівності (скелі, горби без рослинного покриву), а також стаціонарні об'єкти типу будівель, щогл, заводських труб і т.п. амплітудний розподіл описується законом Райса [2].

Проміжок часу, протягом якого потрібно описувати флюктуації ПЗ в елементі розділення, повинен бути рівний тривалості пачки ехо-сигналу від точкового відбивача, але не меншого часу міжперіодної обробки завади в РЛС. Таким чином, в моделі для кожного елемента розділення формується послідовність випадкових чисел, що є вибірками з випадкового процесу  $V(t)$  в моменти часу, кратні періоду повторення  $T_{\text{п}}$

$$b_m = V(m \cdot T_{\text{п}}). \quad (8)$$

Кількість елементів послідовності  $b_m$  визначається числом  $M$ , рівним кількості зондувань за час повороту антени РЛС на кут  $\Delta\phi$

$$M = \Delta\phi / (vT), \quad (9)$$

де  $\Delta\phi$  - величина елемента розділення по азимуту;  $T$  - швидкість обертання антени РЛС.

Таким чином, для кожного елементу розділення РЛС формується з урахуванням розглянутих вище спектральних характеристик відповідний масив випадкових некорельованих чисел  $b_m$ , що описує флюктуації амплітуди відбиття від конкретного типу поверхні протягом часу, який дорівнює тривалості опромінювання РЛС точкової цілі. При цьому середньоквадратичне значення амплітуди відбиття від даного елементу розділення визначається за формулою

$$A_m = A(mT_{\Pi}) = \sqrt{P} b_m. \quad (10)$$

Іншими словами, для забезпечення просторово-часових властивостей ПЗ і враховуючи, що огляд в азимутній площині відбувається послідовно і з однаковою швидкістю, проводиться відповідна модуляція флюктуацій завади в часі. Для цього в межах елементу розділення, тобто в межах шагу дискретизації по азимуту  $\Delta\varphi$ , у елементі розділення по дальності розставляється  $M$  реалізацій отриманого масиву амплітуд завади з кроком  $\Delta\beta$ , який дорівнює куту повороту антени за час  $T_{\Pi}$

$$\Delta\beta = vT_{\Pi}. \quad (11)$$

При цьому у кругову по азимуту кількість дискрет збільшується в  $M$  разів. Номер поточної дискрети по азимуту визначається співвідношенням

$$k = M \cdot i + m, \quad (12)$$

де  $i$  - поточний номер елементу розділення;  $m$  - номер поточного елементу масиву флюктуацій перешкоди в даному елементі розділення.

З урахуванням викладеного вище  $m$ -та реалізація завади від елементарної ділянки, що знаходиться на  $k$ -му напрямі і в  $j$ -му елементі дальності, описується згідно формулі (4), перетвореній до вигляду:

$$\dot{X}_{kj} = \sqrt{P_{ij}} b_{kj} e^{-j(\Delta\phi_{ij} - \beta_{kj})}, \quad (13)$$

де  $P_{ij}$  - потужність завади від  $j$ -ї ділянки поверхні по дальності на  $i$ -тому напрямі;  $b_{kj}$  - модулюючий множник амплітуди флюктуацій завади  $j$ -ї ділянки поверхні по дальності на  $k$ -му напрямі;  $\Delta\phi_{ij}$  - доплерівський міжперіодний набіг фази від  $j$ -ї ділянки поверхні по дальності на  $i$ -му напрямі;  $\beta_{kj}$  - випадкова початкова фаза ехо-коливання з  $j$ -ї ділянки  $k$ -го напрямі. Значення індексу  $i$  пов'язане із значенням індексу  $k$  згідно формулі (12) як ціла частина від ділення  $k$  на  $M$ .

Набіг фази  $\Delta\phi_{jk}$  для ділянок земної поверхні практично рівний нулю, оскільки відбиття від земної поверхні в переважній більшості випадків не мають доплерівського зсуву частоти. Для морської поверхні при швидкостях вітру від 2 до 15 м/с  $F_d$  визначається з емпіричної залежності [2]

$$F_d = 44.4 \bar{V}_w / \lambda. \quad (14)$$

Для рухомих об'єктів  $F_d$  визначається радіальною швидкістю руху

$$F_d = 2 V_r / \lambda. \quad (15)$$

Черговим етапом моделювання ПЗ (блок 7) є врахування обертання антени РЛС в горизонтальній площині (ДСА у вертикальній площині враховується при розрахунку масиву потужностей ПЗ).

Початковий масив комплексних значень нормованої ДСА розраховується наперед. Поточне значення рівня ДСА по полю  $W$  формується методом інтерполяції даних початкового масиву. Результуюча інтенсивність ПЗ на вході антени РЛС в черговому  $j$ -му елементі  $k$ -го кільця дальності  $\dot{U}_{jk}$  обчислюється шляхом вагового підсумовування всіх елементів масиву завади в  $k$ -тому кільці дальності, з ваговими коефіцієнтами, які задаються відповідними даним напрямам елементами масиву ДСА  $W$ :

$$\dot{U}_{kj} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A_{(n+k)j} \cdot W_n \cdot e^{-j(k\Delta\phi_{ij} - \beta_i)}; \quad (16)$$

$$k = \overline{1, N}, \quad j = \overline{1, D}, \quad i = \overline{1, L}, \quad i = \text{abs}(k / M),$$

де  $A_{(n+k)j}$  - поточний елемент масиву перешкоди в  $j$ -му кільці дальності;  $W_n$  - поточний елемент масиву ДСА;  $\Delta\phi_{ij}$  - доплерівський міжперіодний набіг фази від  $j$ -ї ділянки поверхні по дальності на  $i$ -тому напрямі;  $\beta_i$  - випадкова початкова фаза ехо-коливання з  $i$ -того елементу розділення по азимуту;  $N=L \cdot M$  - кількість елементів масиву завади в одному кільці дальності;  $L$  - кількість елементів розділення по азимуту;  $M$  - число реалізацій завади в одному елементі розділення по азимуту;  $D$  - кількість елементів розділення по дальності;  $\text{abs}(\cdot)$  - операція виділення цілої частини дробового числа.

Наступна реалізація для  $k+1$  елементу в  $j$ -му кільці дальності згідно формулі (16) проводиться з тими ж масивами чисел  $A$ ,  $W$ ,  $\beta$ , але опитування масиву  $A$  здійснюється із зсувом на один елемент. У масиві регулярного набігу фази  $\Delta\varphi$  до кожного елементу додається відповідний міжперіодний набіг фази за рахунок частоти Доплера в тих елементах, яким привласнені ознаки водної (морської) поверхні або рухомого об'єкту. Після розрахунку значень всіх елементів масиву  $\dot{U}$  в  $j$ -му кільці дальності проводяться такі ж розрахунки для чергового кільця дальності. При цьому використовуються нові відповідні масиви  $A$  і  $\Delta\varphi$ .

Таким чином, результатом прямого імітаційного моделювання пасивної завади у вигляді відбиття від поверхнево-розподілених і точкових об'єктів на вході системи міжперіодної обробки сигналів є масив комплексних чисел. Елемент масиву  $\dot{U}_{kj}$  характеризує комплексну амплітуду ехо-коливання завади від  $j$ -того елементу дальності з  $k$ -того напрямі і представляється реальною  $U_{1kj} = \text{Re}[\dot{U}_{kj}]$  і уявною  $U_{2kj} = \text{Im}[\dot{U}_{kj}]$  частинами, що описують процес відповідно на синфазному і квадратурному виходах фазового детектору РЛС.

Максимальні значення індексів  $i$ ,  $j$ ,  $k$  визначаються параметрами РЛС, порядок їх вибору описано вище.

Таким чином, виходячи з розглянутих принципів, для створення моделі когерентних черезперіодних реалізацій сигнально-завадової обстановки необхідна наступна послідовність процедур:

а) отримати радіальні вибірки рельєфу місцевості з центром в точці стояння РЛС і ознаки типів поверхні;

б) отримати комплексну модель ДСА РЛС в горизонтальній площині;

в) отримати комплексні моделі результуючих ДСА РЛС у вертикальній площині в режимі випромінювання і прийому із заданим шагом по азимуту;

в) розрахувати енергетичні рівні пасивних перешкод в кожному елементі розділення з урахуванням ТТХ РЛС, параметрів середовища розповсюдження радіохвиль, рельєфу і відбиваючих властивостей місцевості. Врахування дифракції радіохвиль проводиться шляхом розрахунку кутів дифракції за перешкодою (радіогоризонтом) і введенням відповідного експоненціального загасання енергії відбиття від перешкоди;

г) провести нормування отриманого масиву енергетичних рівнів пасивної перешкоди для врахування реальних втрат електромагнітної енергії в тракті РЛС і середовищі розповсюдження радіохвиль;

д) з використанням масиву типів поверхні для кожного елемента розділення отримати середньоквадратичні значення амплітуди  $b_m$  у фіксовані моменти часу  $t_m = m \cdot T_{\text{п}}$ . Отриманими реалізаціями описати флюктуації амплітуди ПЗ конкретного типу поверхні протягом часу, рівного тривалості опромінювання РЛС точкового об'єкту, з урахуванням потужності відбиття завади від даного елемента розділення. При цьому для ділянок земної поверхні, що мають великомасштабні нерівності, а також стаціонарні об'єкти у вигляді будівель, щогл і т.п. формується випадкова послідовність кодів  $b(m)$ , що описується законом Райса, для морської поверхні і зем-

них ділянок, покритих густою рослинністю амплітудний розподіл  $b(m)$  задається релеевським законом, а для схвильованої морської поверхні при малих кутах ковзання (менше  $1^\circ \dots 5^\circ$ ) – логнормальним розподілом;

е) отримати комплексні реалізації завади для кожного елемента масиву  $\dot{X}$ , при цьому для схвильованої морської поверхні і рухомих об'єктів визначається величина регулярного доплерівського набігу фази ехо-коливання, а випадкова початкова фаза задається з використанням рівномірного закону;

ж) розрахувати результуючі реалізації квадратур амплітуди ПЗ на виході антени РЛС з урахуванням обертання в горизонтальній площині. Для чого в кожному елементі масиву  $\dot{X}$  отримати значення  $\dot{U}_{kj}$  за допомогою проведення вагового підсумовування всіх елементів масиву завади в  $j$ -тому кільці дальності. Вагові коефіцієнти визначаються відповідними елементами масиву комплексних значень ДСА  $\dot{W}$ . Вихідним результатом є масиви реальної  $\text{Re}[\dot{U}]$  і мнімої  $\text{Im}[\dot{U}]$  частин комплексних амплітуд ехо-коливань завади  $\dot{U}$  від кожного заданого елемента простору, які описують процес, відповідно, на синфазному і квадратурному виходах фазового детектору РЛС.

Як приклад, на рис. 2 наведено види екранів ІКО з відображенням моделей заводової обстановки у вигляді відбиття від місцевих предметів для РЛС 5Н84А при розміщенні позиції біля міст Кам'янка Бузька і Євпаторія.

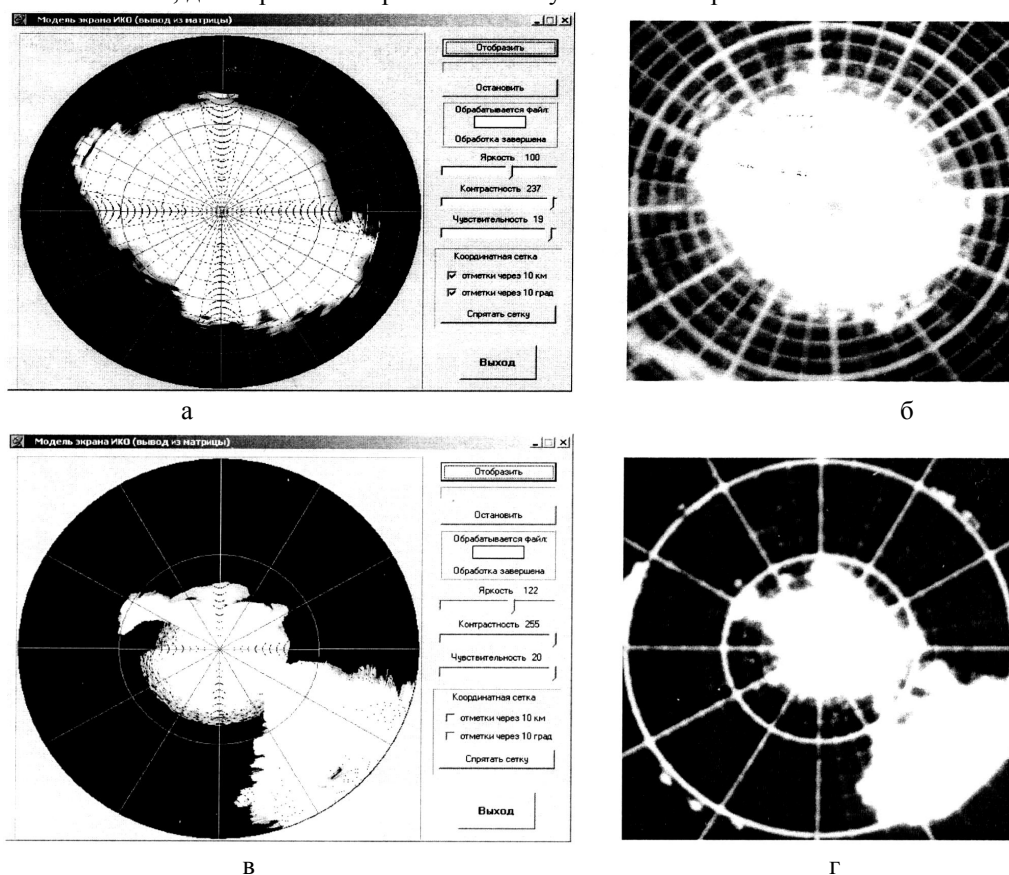


Рис. 2. Видя екрану ІКО при розміщенні позиції біля: а, б – містечка Кам'янка Бузька, в, г – міста Євпаторія; а, в – з відображенням моделі заводової обстановки у вигляді відбиття від місцевих предметів для РЛС 5Н84А; б, г – фотознімки екранів реальних РЛС

Для порівняння на рис. 2, б, г приведені відповідні фотознімки екранів реальних РЛС, розташованих на цих позиціях.

Фотознімки отримані при експозиції екранів ІКО протягом кількох обертів антени, а моделі перешкод сформовані для одного оберту. Масштаб ІКО – 100 км.

Для позиції в околиці м. Євпаторія імітувалося помірне хвилювання на морі з висотою морської хвилі 1 м при швидкості вітру 10 м/с.

На рис. 3 показаний приклад з виглядом моделі "містиків" при розташуванні РЛС П-37 в гористій місцевості.

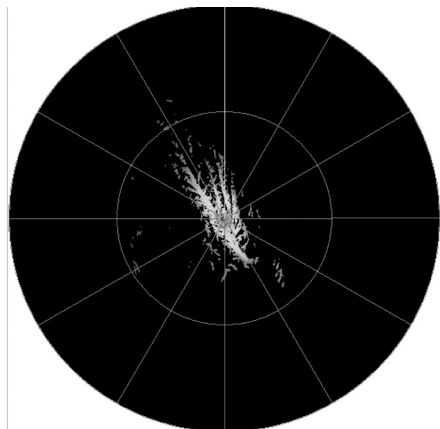


Рис. 3. Вигляд моделі "містиків" при розташуванні РЛС П-37 в гористій місцевості.

Приведені приклади свідчать про адекватність моделей відбиття від місцевих предметів, що отримуються з використанням розробленої методики, реальним "містникам", спостережуваним на екранах ІКО РЛС.

## Висновки

Розроблена методом прямого імітаційного моделювання динамічна модель радіолокаційних відбиттів від навколишньої РЛС місцевості практично адекватна реальній заводовій обстановці. Враховані затінючі і відбиваючі властивості земної поверхні, рефракція й дифракція електромагнітних хвиль, а також специфіка конкретної позиції, на якій розгорнута РЛС. Модель може знайти застосування на різних етапах розробки РЛС, а також у тренажерних системах.

## Список літератури

1. Радиозлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Под ред. Я.Д.Ширмана. - М.: Радиотехника, 2007. - 512 с.: ил.
2. Кулемин Г.П., Разказовский В.Б. Рассеяние миллиметровых радиоволн поверхностью Земли под малыми углами места. - Киев: Наук. Думка, 1987. - 232 с.
3. Справочник по радиолокации в 4-х т. / Под редакц. М. Скольника: Пер. с англ. - Т1. - М.: Сов. радио, 1976. - 456 с.
4. Кулемин Г.П. Радиолокационные помехи от моря и суши РЛС сантиметрового и миллиметрового диапазонов // Сборник трудов международной научно-технической конференции "Современная радиолокация". - Киев, 1994. - С. 23-29.
5. Бакулев П.А., Степин В.М. Методы и устройства селекции движущихся целей. - М.: Радио и связь, 1986. - 288 с.

Поступила в редколлегию 11.01.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, с.н.с. С.П. Лещенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

## ДИНАМИЧЕСКАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОТРАЖЕНИЙ ОТ МЕСТНЫХ ПРЕДМЕТОВ

М.Р. Арасланов

*Статья посвящена разработке динамической стохастической имитационной модели межпериодно коррелируемых пассивных помех от земной поверхности. Разработанная модель может быть использована при имитации комплексной сигнально-помеховой обстановки для проведения ряда натурных и стендовых испытаний на этапах разработки и эксплуатации радиолокационных станций, при проверках и настройках, а также при проведении тренировок операторов.*

**Ключевые слова:** имитационная модель, пассивная помеха, РЛС, рельеф местности, радиолокационные отражения, местные предметы.

## DYNAMIC MODEL FOR SIMULATION OF LOCAL OBJECTS SCATTERING

M.R. Araslanov

*The paper is devoted to development of dynamic stochastic model for simulation of radar inter-periodically correlated clutter. The offered model can be used for simulation of complicated signal-jamming environment under realization of various tests during development and exploitation of radars, radar verifications and tuning, operator trainings, etc.*

**Keywords:** simulation model, radar clutter, locality relief, radar scattering, local objects.