

УДК 621.391

Т.Ю. Микуляк, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

І.А. Пількевич, к.т.н., доц.

Житомирський філіал ПВНЗ „Європейський університет”

МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ МАТРИЦІ РОЗСІЮВАННЯ СУКУПНОСТІ ДИПОЛІВ

У статті запропонована методика математичного опису поляризаційної матриці розсіювання сукупності диполів, що знаходяться в об'ємі розділення РЛС. Результати необхідні для моделювання хмар дипольних відбивачів на позаатмосферній ділянці траєкторії польоту цілі.

Постановка задачі. У даний час накопичено незначний експериментальний матеріал щодо оцінок характеристик хмари дипольних відбивачів (ХДВ) за результатами натурних досліджень. До того ж наявна натурна інформація має невисоку вірогідність, оскільки розробка методу експериментального оцінювання характеристик ХДВ знаходиться на початковій стадії розвитку [1]. У зв'язку з цим особливо важливе значення для одержання характеристик сигналів, відбитих від хмари диполів, набувають методи модельного експерименту [2].

Колись поляризаційні властивості радіолокаційних сигналів не заслуговували на особливу увагу дослідників та інженерів [3]. Значною мірою ця обставина була обумовлена обмеженими можливостями техніки антенно-фідерних систем надвисоких частот. Тому на відміну від оптики, де поляризаційні ефекти були давно досліджені й ввійшли в практику, в радіолокації вони не тільки не застосовувалися, але і не були досить серйозно вивчені [4].

Положення різко змінилося в зв'язку з розвитком феритових елементів, які дозволили простими технічними засобами вирішити проблеми аналізу поляризаційної структури відбитих сигналів з будь-якими поляризаційними параметрами [5].

Тому в статті запропонований простий метод математичного опису поляризаційної матриці розсіювання сукупності диполів, що знаходяться в об'ємі розділення імпульсної РЛС.

Методика математичного опису статистичної матриці розсіювання об'ємно-розподілених цілей. Нехай за допомогою радіолокаційної станції спостерігається об'ємно-розподілена флюктууюча ціль. При цьому має місце взаємне переміщення окремих відбивачів і самої радіолокаційної станції, обумовлене рухом РЛС і випадковою зміною місця розташування й орієнтації відбивачів.

Нехай поляризація опромінюючої хвилі фіксована і визначена матрицею-стовпцем:

$$\dot{E}_{\text{над}}(t) = \begin{pmatrix} E_1 \exp j\omega t \\ E_2 \exp j(\omega t + \delta) \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Число елементарних відбивачів в об'ємі розділення РЛС N , а поляризаційні властивості кожного з них описуються комплексною матрицею розсіювання [6]:

$$\dot{S}_k = \begin{pmatrix} s_{11k} \exp j(\eta_{11k} + \xi_{11k}) & s_{12k} \exp j(\eta_{12k} + \xi_{12k}) \\ s_{21k} \exp j(\eta_{21k} + \xi_{21k}) & s_{22k} \exp j(\eta_{22k} + \xi_{22k}) \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де s_{mnk} – модулі елементів матриці;

η_{mnk} – фази елементів матриці;

ξ_{mnk} – просторові фазові характеристики елементів матриці;

$m, n = 1, 2$.

Властивості елементів матриці (1) залежать від умов спостереження того або іншого відбивача. Якщо положення деякого елементарного відбивача незмінне, то кожній точці простору поза цим відбивачем буде відповідати визначений набір фіксованих значень s_{mnk} , η_{mnk} , ξ_{mnk} , причому величини s_{mnk} і η_{mnk} залежать від взаємного розташування відбивача і РЛС у просторі і не змінюються з відстанню між ними. У той же час просторова фазова характеристика ξ_{mnk} є функцією деякої лінійної величини ΔR , що має розмірність відстані.

Нехай R_{k0} – відстань від даної точки простору до k -ї ділянки середньої поверхні, R_{mnk} – відстань від тієї ж точки до „ k ” ділянки поверхні цілі. Тоді просторова фазова характеристика може бути визначена у вигляді:

$$\xi_{mnk} = \frac{4\pi}{\lambda} (R_{mnk} - R_{k0}) = \frac{4\pi \Delta R_{mnk}}{\lambda}.$$

Позначимо суму кутів, що складають аргументи комплексних елементів матриці (2),

$$\eta'_{mnk} = \eta_{mnk} + \xi_{mnk}$$

і розглянемо перетворення поляризації опромінюючої хвилі елементарною ділянкою цілі.

Сигнал від даного елементарного відбивача в апертурі антени радіолокаційної станції може бути знайдений множенням матриці (2) на матрицю-стовпець опромінюючої хвилі:

$$\dot{\vec{E}}_{\text{від},k}(t) = \begin{pmatrix} s_{11k} \exp j\eta'_{11k} & s_{12k} \exp j\eta'_{11k} \\ s_{21k} \exp j\eta'_{21k} & s_{22k} \exp j\eta'_{22k} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1 \exp j\omega t \\ E_2 \exp j(\omega t + \delta) \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Оскільки елементарний відбивач не має властивості ізотропності в поляризаційному змісті [6], [7], то поляризація відбитої хвилі буде відрізнятися від поляризації падаючої хвилі, тобто

$$\dot{\vec{E}}_{\text{від},k}(t) \neq \dot{\vec{E}}_{\text{над}}(t).$$

Вектор електричного поля, що характеризує відбиття від сукупності елементарних відбивачів у межах об'єму розділення РЛС, у точці прийому буде визначатися сумою векторів $\vec{E}_{\text{від},k}(t)$ і узагальненою характеристикою передавальної антени РЛС.

Під узагальненою характеристикою антени будемо розуміти добуток двох комплексних функцій – амплітудно-фазової характеристики антени \dot{G} і її поляризаційної характеристики \dot{P} :

$$\dot{\Gamma}(\alpha_k, \gamma_k) = \dot{G}(\alpha_k, \gamma_k) \dot{P}(\alpha_k, \gamma_k),$$

де α_k і γ_k – кутові координати k -го елементарного відбивача в межах об'єму розділення РЛС.

Таким чином, для відбитого сигналу від сукупності спостережуваних відбивачів вектор електричного поля визначається сумою сигналів (3), причому підсумовування робиться з вагами, обумовленими узагальненою характеристикою антени РЛС:

$$\dot{\vec{E}}_{\Sigma}(t) = \sum_{k=1}^N \dot{\vec{E}}_{\text{від},k}(t) \dot{\Gamma}(\alpha_k, \gamma_k). \quad (4)$$

Матриця-стовпець опромінюючої хвилі, що входить в неявному вигляді у вираз (4), від індексу k підсумовування не залежить, і формула сумарного сигналу може бути переписана в такий спосіб:

$$\dot{\vec{E}}_{\Sigma}(t) = \sum_{k=1}^N \begin{pmatrix} s_{11k} \exp j\eta'_{11k} & s_{12k} \exp j\eta'_{11k} \\ s_{21k} \exp j\eta'_{21k} & s_{22k} \exp j\eta'_{22k} \end{pmatrix} \dot{\Gamma}(\alpha_k, \gamma_k) \times \begin{pmatrix} E_1 \exp j\omega t \\ E_2 \exp j(\omega t + \delta) \end{pmatrix}.$$

Характеристика $\dot{\Gamma}(\alpha_k, \gamma_k)$ визначена для кожного конкретного типу антени і повинна враховуватися при дослідженні поляризаційних властивостей радіолокаційних цілей.

Використовуючи правила додавання матриць, остаточно одержимо:

$$\dot{\vec{E}}_{\Sigma \text{ від}}(t) = \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^N s_{11k} \exp j\eta'_{11k} & \sum_{k=1}^N s_{12k} \exp j\eta'_{12k} \\ \sum_{k=1}^N s_{21k} \exp j\eta'_{21k} & \sum_{k=1}^N s_{22k} \exp j\eta'_{22k} \end{pmatrix} \vec{E}_{\text{над}}(t). \quad (5)$$

У добутку (5) другий множник, що враховує поляризацію опромінюючої хвилі, у процесі спостереження не змінюється. Перший множник цілком характеризує поляризаційні властивості флюктуючої цілі і може бути названий статистичною матрицею розсіювання об'ємно-розподіленої цілі.

Поляризаційна матриця розсіювання всього об'єкта. Середня поляризаційна матриця розсіювання. Вважатимемо, що:

- а) розміри об'єму розділення вздовж лінії візування не змінюються;
- б) щільність частинок в об'ємі розділення в кожен момент часу та сама й однорідна за простором;
- в) сигнали окремих частинок сумуються за амплітудою в окремій точці прийому, а за фазою – у точці „О”

(рис. 1) так, що, якщо власна поляризаційна матриця розсіювання (ПМР) частинки \vec{S}_0 (з фазовим центром у своєму геометричному центрі), то ПМР щодо точки „О” буде:

$$\vec{S}_0 e^{j\frac{2\omega}{c}\Delta r} = \vec{S}_0 e^{j\frac{4\pi}{\lambda}\Delta r},$$

де Δr – відстань по лінії візування від частинки до загального фазового центра „О”;

- г) кількість частинок в об'ємі розділення дорівнює N_0 ;

д) по лінії візування швидкості частинок відносно РЛС розподілені за законом $W(v)$, тобто кількість частинок зі швидкостями від v до $v + dv$ дорівнює:

$$dN = N_0 \cdot W(v) dv;$$

- е) початкові кути φ і γ кожної частинки рівномірні в інтервалі від $-\pi/2$ до $\pi/2$;

- ж) початкові швидкості за кутами мають розподіл $\omega(\varphi)$ і $\omega(\gamma)$.

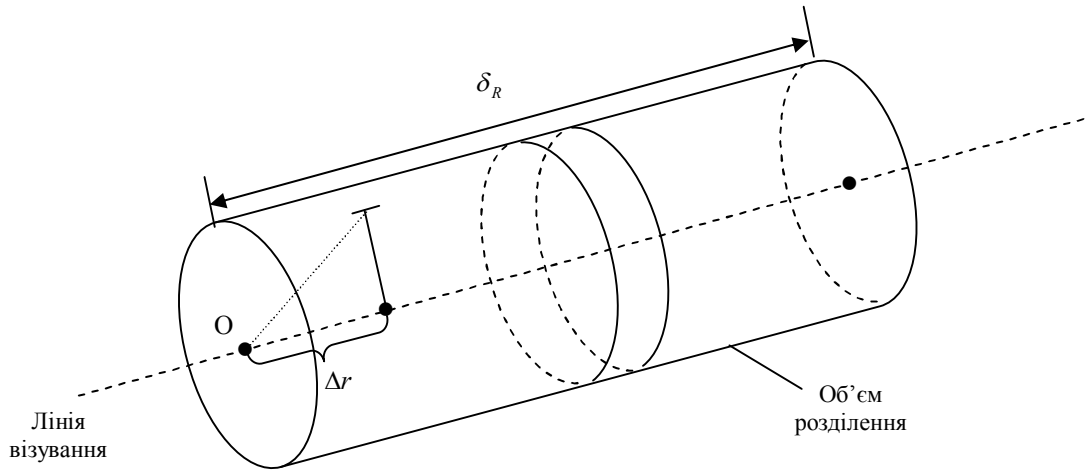


Рис. 1

З урахуванням прийнятих обмежень сумарна ПМР об'єкта дорівнюватиме:

$$\dot{\bar{S}}_{\Sigma} = \sum_{k=1}^{N_0} \bar{S}_k e^{j \frac{4\pi}{\lambda} \Delta r_k}, \tag{6}$$

$$\Delta r_i = \frac{\delta_R}{N_0} (i-1) + V_i \tau; \tag{7}$$

де τ – час від початку спостереження до поточного моменту.

Вважатимемо, що в початковий момент часу $\tau = 0$ щільність частинок в об'ємі розділення ідеально однорідна, а перша частинка знаходиться в точці „О”.

Тоді з обліком (7) матимемо:

$$\dot{\bar{S}}_{\Sigma} = \sum_{k=0}^{N_0-1} \bar{S}_k e^{j \frac{4\pi \delta_R}{\lambda N_0} (k-1)} e^{j \frac{4\pi \tau}{\lambda} v_k}. \tag{8}$$

Усреднюючи сумарну ПМР об'єкта за γ , φ , $\dot{\gamma}$, $\dot{\gamma}$ і v , одержимо:

$$\dot{\bar{S}}_{\text{сеп}\Sigma} = \bar{S}_{\text{сеп}} \sum_{k=0}^{N_0-1} e^{j \frac{4\pi \delta_R}{\lambda N_0} (k-1)} \cdot \underbrace{\int_{-\infty}^{\infty} e^{j \frac{4\pi \tau}{\lambda} v} W(v) dv}_{\theta_v \left(\frac{4\pi \tau}{\lambda} \right)} = \bar{S}_{\text{сеп}} \theta_v \left(\frac{4\pi \tau}{\lambda} \right) \frac{1 - e^{j \frac{4\pi \delta_R}{\lambda}}}{1 - e^{j \frac{4\pi \delta_R}{\lambda N_0}}}, \tag{9}$$

де $\bar{S}_{\text{сеп}}$ – середня за γ , φ , $\dot{\gamma}$, $\dot{\gamma}$ ПМР однієї частинки з автономним фазовим центром у собі самій і дорівнює [8]:

$$\bar{S}_{\text{сеп}} = C \frac{2}{\pi kl} \bar{S}_i (kl) \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix},$$

(а всі частинки вважаємо однаковими);

$$\theta_v(x) = \int_{-\infty}^{\infty} W(v) e^{jxv} dv - \text{характеристична функція розподілу } W(v).$$

Отже середня ПМР всього об'єкта:

$$\dot{\bar{S}}_{\text{сеп}\Sigma} = C \frac{2}{\pi kl} \bar{S}_i (kl) \theta_v \left(\frac{4\pi \tau}{\lambda} \right) \frac{1 - e^{j \frac{4\pi \delta_R}{\lambda}}}{1 - e^{j \frac{4\pi \delta_R}{\lambda N_0}}} \cdot I,$$

де $I = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ – одинична матриця 2×2 ;

C – деяка дійсна константа.

Таким чином, знання середньої поляризаційної матриці розсіювання дозволяє розробляти автоматичні компенсатори, принцип роботи яких ґрунтується на різниці у поляризаційних властивостях різних радіолокаційних цілей.

Висновки

1. Підвищення захисту РЛС від перешкод під час їх роботи в умовах дії пасивних перешкод в космосі у вигляді хмари дипольних відбивачів базується на знанні та використанні статистичних характеристик хмари диполів як вторинних випромінювачів радіохвиль.

2. Вектор електричного поля відбитого сигналу від сукупності диполів визначається ваговою сумою сигналів, відбитих від окремих диполів, причому ваги обумовлені узагальненою характеристикою антени РЛС.

3. Середня поляризаційна матриця розсіювання не дорівнює нулю. Це свідчить про те, що розподіл початкових кутів кожної частинки не рівномірний в інтервалі $\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Пількевич І.А.* Результати експериментальних досліджень коефіцієнтів кореляції ефективної поверхні розсіювання хмари диполів і амплітуд відбитих від них сигналів // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем: Збірник наукових праць. – Житомир: ЖВІРЕ, 2004. – Вип. 7. – С. 132–142.
2. *Наринян А.Р., Поздеев В.А.* Основы научных исследований: Учебн. пособие. – К.: Изд-во Епрон. ун-та, 2002. – 110 с.
3. *Канарейки Д.Б., Павлов Н.Ф., Потехин В.А.* Поляризация радиолокационных сигналов / Под ред. В.Е. Дулевича. – М.: Сов. радио, 1986. – 440 с.
4. *Lowenhar H.* ABM radar: myth vs reality. Space / Aeronautics, Nov. – Vol. 52. – № 6. – P. 56–64.
5. *Ramsay J.F., Thompson I.P., White W.D.* Polarization Trackings of Antennas. IRE Intern. Conv. Rec., 1992. – Vol. 10 – pt.1. – P. 15–21.
6. *Храбростин Б.В., Сапов М.М., Пилькевич И.А.* Использование измерителя элементов поляризационной матрицы рассеяния для компенсации разрешаемых сигналов дипольных помех // Вопросы совершенствования испытаний и характеристик систем вооружения ПВО: Н.т.сб., № 1(69). – Часть 1. – В/ч 03080, 1989. – С. 20–25.
7. *Пількевич І.А.* Результати експериментальних досліджень коефіцієнтів кореляції ефективної поверхні розсіювання хмари диполів і амплітуд відбитих від них сигналів // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем: Збірник наукових праць. – Житомир: ЖВІРЕ, 2004. – Вип. 7. – С. 132–142.
8. *Пількевич І.А., Микуляк Т.Ю.* Математичний опис поляризаційної матриці розсіювання диполя // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – 2004. – Вип. №3(30). – С. 71–75.

МИКУЛЯК Таміла Юріївна – аспірант Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– математичне моделювання фізичних процесів.

Тел.: 42-14-27.

ПІЛЬКЕВИЧ Ігор Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, декан факультету інформаційних систем та технологій Житомирської філії ПВНЗ „Європейський університет”.

Наукові інтереси:

– математичне моделювання складних систем;

– обробка радіолокаційної інформації на фоні перешкод.

E-mail: office@eu.zt.ua

Подано 12.03.2005

Микуляк Т.Ю., Пількевич І.А. Математичний опис поляризаційної матриці розсіювання сукупності диполів.

Микуляк Т.Ю., Пількевич І.А. Математическое описание поляризационной матрицы рассеивания совокупности диполей.

Mykulyak T.Y., Pil'kevych I.A. Mathematical description of dispersion polarizing matrix of the dipoles totality.

УДК 621.391

Математичний опис поляризаційної матриці розсіювання сукупності диполів / Т.Ю. Микуляк, І.А. Пількевич

У статті запропонована методика математичного опису поляризаційної матриці розсіювання сукупності диполів, що знаходяться в об'ємі розділення РЛС. Результати необхідні для моделювання хмар дипольних відбивачів на поза атмосферній ділянці траєкторії польоту цілі.

УДК 621.391

Математическое описание поляризационной матрицы рассеивания совокупности диполей / Т.Ю. Микуляк, И.А. Пилькевич

В статье предложена методика математического описания поляризационной матрицы рассеивания совокупности диполей, которые находятся в разрешаемом объеме РЛС. Результаты статьи необходимы для моделирования облаков дипольных отражателей на внеатмосферном участке траектории полета цели.

УДК 621.391

Mathematical description of dispersion polarizing matrix of the dipoles totality / T.Y. Mykulyak., I.A. Pil'kevych

The mathematical description method of the polarizing matrix of the dipoles totality dispersion which are in the capacity of RLS division. The results of the article must be applied for the clouds modeling of dipole ejector in outside atmospheric zone trajectory of target flying.