

Оригінальна стаття

<https://doi.org/10.26565/2311-0872-2022-37-05>

УДК 537.6/8

М. М. ЛЕГЕНЬКИЙ, к. ф.-м. наук, доц.

e-mail: mlegenkiy@karazin.ua

ORCIDL: <https://orcid.org/0000-0002-5945-4002>

М. А. БУГАЙ, студ.

e-mail: maksym.buhai@student.karazin.ua

ORCIDL: <https://orcid.org/0000-0001-5897-1705>

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

ДИФРАКЦІЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ХВИЛІ НА ЛІЧІЛЬНІЙ БЕЗЛІЧІ РОЗСІЮВАЧІВ

Актуальність. Задача розрахунку ефективної поверхні розсіювання (ЕПР) складних об'єктів має велике значення. Зазвичай, при створенні радіолокаційних станцій вимірюють ЕПР на реальних цілях. Можливість точного теоретичного розрахунку за раніше створеним алгоритмом прискорила б розробку нових радіолокаційних станцій.

Мета роботи. Метою роботи є створення алгоритму розрахунку ЕПР реальних цілей за допомогою їх моделювання із використанням системи яскравих неполяризованих точок у просторі.

Матеріали та методи. Для розв'язання задачі моделювання складних об'єктів за допомогою великої кількості яскравих неполяризованих точок було використано комп'ютерну програму MATLAB. Всі рівняння було отримано, виходячи із властивостей електромагнітних хвиль та із рівняння радіолокації.

Результати. Отримано рівняння для розрахунку ЕПР лічильної безлічі розсіювачів для ближньої зони без урахування та з урахуванням дифракційного розсіювання хвиль, а також аналогічні рівняння для дальньої зони; наведено графіки для кожного із випадків.

Висновки. Розглянуто визначення ефективної поверхні розсіювання, виведено формули для системи із N розсіювачів для некогерентного випадку без дифракційного розсіювання для ближньої і дальньої зон, для некогерентного випадку з дифракційним розсіюванням для ближньої зони, для когерентного випадку без дифракційного розсіювання для дальньої і ближньої зон, для когерентного випадку з дифракційним розсіюванням для ближньої зони. Представлено чисельні розрахунки, виконані за цими рівняннями для різного розташування систем із 3 та 4 розсіювачів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ефективна поверхня розсіювання, ЕПР, рівняння радіолокації, лічильна безліч розсіювачів.

Як цитувати: Легенький М. М., Бугай М. А. Дифракція електромагнітної хвилі на лічильній безлічі розсіювачів. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Радіофізика та електроніка». 2022;37:60-72. <https://doi.org/10.26565/2311-0872-2022-37-05>

In cites: Legenkiy M, Buhai M. Diffraction of an electromagnetic wave on a countable set of scatterers. Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Radio Physics and Electronics". 2022;37:60–72. (In Ukrainian). <https://doi.org/10.26565/2311-0872-2022-37-05>

ВСТУП

Основою активної радіолокації є відбиття електромагнітних хвиль від перешкод (об'єктів) або неоднорідностей. Під даними поняттями розуміються області простору, які суттєво відрізняються своїми електричними і магнітними властивостями від середовища поширення хвиль. Електромагнітна хвиля, яка падає на об'єкт, викликає вимушені коливання вільних і зв'язаних зарядів, які когерентні з коливанням падаючої хвилі. Дані коливання створюють вторинне поле всередині і ззовні об'єкту. У результаті енергія електромагнітної хвилі, що падає на об'єкт, розсіюється у всіх напрямках, у тому числі і в напрямку до радіолокаційної станції. Відбита хвиля, яка прийшла в точку прийому, це відбитий ціллісний сигнал. Інтенсивність таких сигналів залежить від дальності до цілі, її геометричного розміру, а також конфігурації відбиваючої поверхні. Для кількісної оцінки інтенсивності вторинного випромінювання вводиться поняття ефективної поверхні розсіювання (ЕПР). Знання характеристик вторинного випромінювання грає важливу роль для розрахунку параметрів радіолокаційних станцій і визначення їх можливостей щодо виявлення різних цілей [1].

Вторинне випромінювання – випромінювання, яке відбувається через розсіювання енергії електромагнітної хвилі на неоднорідностях, перешкодах чи об'єктах. Самі об'єкти називаються пасивними вторинними випромінювачами. Якщо параметри неоднорідності, такі як діелектрична проникність ϵ та магнітна проникність μ , не співпадають з параметрами середовища, то відбувається вторинне випромінювання радіохвиль. Якщо ж вони рівні, то відбувається поглинання [2].

Поле вторинного випромінювання визначається параметрами падаючої хвилі і параметрами відбивача. До перших відносяться поляризація і довжина електромагнітної хвилі, а до других – ϵ , μ , розміри і форма об'єкту, його орієнтація відносно фронту падаючої хвилі.

Цілі діляться на зосереджені і розподілені. Зосереджені поділяються на одиничні та групові.

Групова ціль складається з двох або більше незалежних відбивачів. Розподілені цілі мають розміри, більші за розміри роздільного об'єкту.

ПОНЯТТЯ ЕПР

Поняття ефективної поверхні розсіювання (ЕПР) широко використовується не тільки в радіолокації, а й у багатьох розділах фізики: розсіювання світла, когерентна оптика, атомна фізика тощо. Існує два види ЕПР: диференціальна та інтегральна. Перша найчастіше використовується на практиці, тому далі вона буде називатися просто ЕПР [5].

ЕПР характеризує можливість тіла, що розсіює, перетворювати падаючу на нього електромагнітну хвилю в розсіяну, яка має певну поляризацію та поширюється у напрямі до приймача. У даному випадку ЕПР пропорційна відношенню інтенсивності розсіяного поля біля приймача до інтенсивності падаючого поля на об'єкт [4].

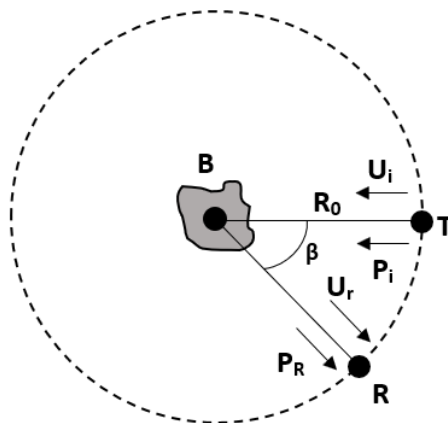


Рис. 1. Довільне тіло, що розсіює.
Fig. 1. An arbitrary scattering body.

На Рис. 1 зображено довільне тіло, що розсіює (A). T – це передавач, що створює напруженість падаючого поля U_i і відповідна їй густина потоку падаючої енергії Π_i . R – приймач, який знаходиться відносно передавача на кут β . U_r – напруженість розсіяного поля, Π_r – густина потоку розсіяної хвилі [3].

Нехай у якості даного об'єкту виступає ідеальне ізотропне тіло, яке розсіює енергію в усіх напрямках однаково. Вважаючи відстань R_0 достатньо великою, щоб розсіяну хвилю можна було вважати сферичною, можна обчислити потужність, яку розсіє таке тіло:

$$P_r = \lim_{R_0 \rightarrow \infty} 4\pi R_0^2 \Pi_r \quad (1)$$

З іншого боку

$$P_r = \sigma \Pi_i \quad (2)$$

де σ – ефективна поверхня розсіювання – площа поверхні ідеального ізотропного тіла, що розсіює падаюче випромінювання так само, як реальне тіло A. Із рівнянь (1) і (2) випливає, що:

$$\sigma = \lim_{R_0 \rightarrow \infty} 4\pi R_0^2 \frac{\Pi_r}{\Pi_i} = \lim_{R_0 \rightarrow \infty} 4\pi R_0^2 \left(\frac{U_i}{U_r} \right)^2 \quad (3)$$

Дане рівняння справедливе за великого значення R_0 . Також у такому випадку густини потоку падаючої і розсіяної хвиль пропорційні квадратам амплітуд падаючої і відбитої хвиль: U_i і U_r .

Для Рис. 1 кут β – двохпозиційний або бістатичний кут, а ЕПР для такого випадку є бістатичною або двохпозиційною ЕПР. При $\beta=0$ маємо моностатичну або однопозиційну ЕПР, іноді радіолокаційну ЕПР. У даній роботі саме така буде розглянута [4].

Також, ЕПР залежить від таких факторів:

1) Електричні і магнітні властивості цілі. ЕПР буде тим більшою, чим більше ϵ і μ цілі відрізняються від таких же параметрів середовища.

2) Характеристика поверхні цілі. Якщо виконується умова для нерівностей на поверхні цілі Δh , то відбиття буде дзеркальним. В інших умовах воно дифузійне.

$$\Delta h \leq \frac{\lambda}{16 \sin \beta} \quad (4)$$

3) Відносні розміри цілі. Вони визначаються відношенням $\frac{1}{\lambda}$ [3].

РІВНЯННЯ РАДІОЛОКАЦІЇ

Для визначення дальності визначення цілі, можна підставити значення ефективної поверхні цілі в рівняння радіолокації. Дане рівняння для випадку, коли випромінений та прийнятий сигнал мають одну й ту ж поляризацію, має вигляд:

$$P_{np} = \left(\frac{P_{nep} G}{4\pi R^2} \right) \left(\frac{\sigma}{4\pi R^2} \right) S_{ef} \quad (5)$$

де P_{nep} – потужність, яку випромінює передавач, P_{np} – потужність, яку отримує приймач, G – коефіцієнт підсилення передавальної антени, R – відстань до цілі, S_{ef} – ефективна площа приймальної антени.

Визначати ЕПР цілі можна не тільки за моностатичного випадку, а й за бістатичного. Тоді рівняння радіолокації матиме вигляд:

$$P_{np} = \left(\frac{P_{nep} G}{4\pi R_{nep}^2} \right) \left(\frac{\sigma}{4\pi R_{np}^2} \right) S_{ef} \quad (6)$$

де R_{nep} – відстань від передавальної антени до цілі, R_{np} – відстань від цілі до приймальної антени [1].

ЕПР РЕАЛЬНИХ ЦІЛЕЙ

Більшість реальних цілей мають розміри, значно більші за довжину хвилі, якою вони опромінюються. Діаграми кутової залежності відбитого випромінювання мають багатопелюстковий характер, бо на них наявні нерівності, які відбивають хвилі в різних напрямках, що призводить до складної кутової залежності (Рис. 2). Тому ЕПР таких цілей залежить і від параметрів падаючої хвилі, і від параметрів самої цілі, що ускладнює моделювання. Через це, зазвичай, ЕПР таких цілей вимірюється експериментально [3].

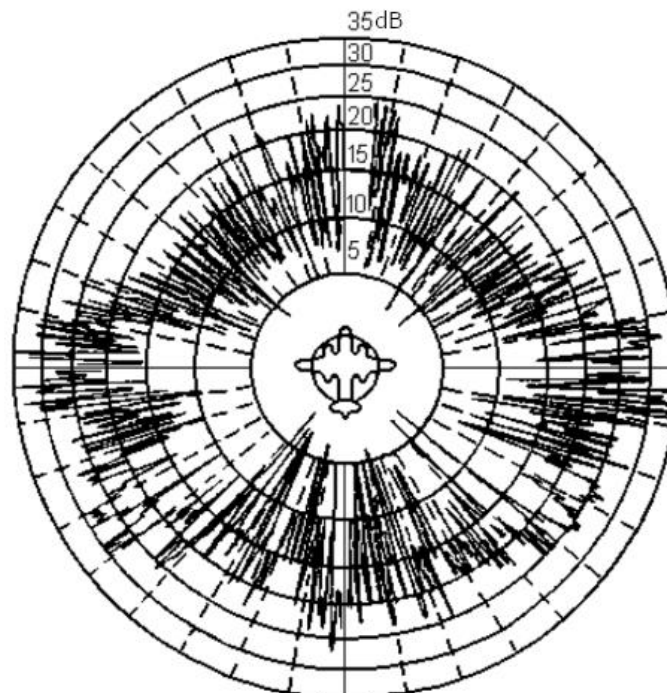


Рис. 2. ЕПР літака [3].
Fig. 2. RCS of a plane [3].

НЕКОГЕРЕНТНИЙ ВИПАДОК БЕЗ ДИФРАКЦІЙНОГО РОЗСИЮВАННЯ

Нехай задано систему з N точок. Відстань від початку координат до передавача становить R_1 , а до приймача – R_2 . n_1 і n_2 – одиничні вектори, які задають напрями до передавача і приймача відповідно. Координата кожної точки задається радіус вектором r_i . Кожна точка має ЕПР σ_i (Рис. 3).

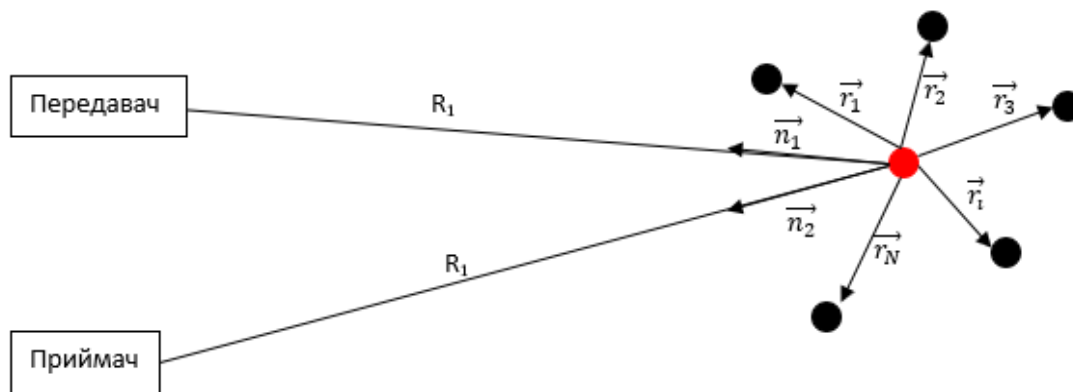


Рис. 3. Система точок.
Fig. 3. Dots system.

Для некогерентного випадку без дифракційного розсіювання сумарна ЕПР точок визначається як сума ЕПР всіх точок (7). Дане рівняння справедливе для ближньої та дальньої зон.

$$\sigma_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \sigma_i \quad (7)$$

Тобто аналогом такої системи розсіювачів є лише один розсіювач, ЕПР якого визначається як некогерентна сума ЕПР всіх розсіювачів, який поміщено в початок координат (Рис. 4) [1].

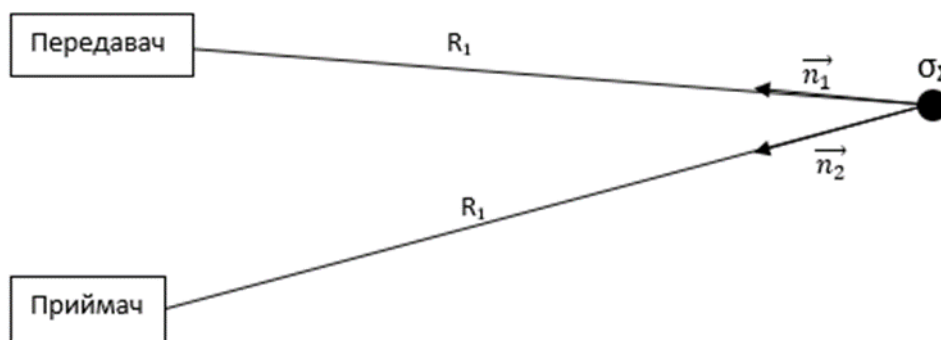


Рис. 4. ЕПР однієї точки.
Fig. 4. RCS of the one dot.

ЕПР даної точки для моностатичного випадку для дальньої і ближньої зони представлено на Рис. 5.

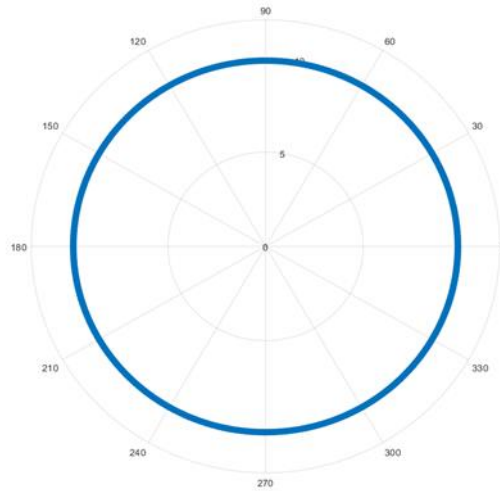


Рис. 5. ЕПР однієї точки для моностатичного випадку.
Fig. 5. RCS of one point for the monostatic case.

НЕКОГЕРЕНТНИЙ ВИПАДОК З ДИФРАКЦІЙНИМ РОЗСІЮВАННЯМ ДЛЯ БЛИЖНЬОЇ ЗОНИ

Ускладненням попереднього випадку виступає додавання до нього дифракційного розсіювання – залежності потоку падаючої і відбитої потужності від відстані. Нехай \vec{R}_{1i} – вектор, який спрямовано від передавача до i -ої точки, а \vec{R}_{2i} – від приймача до i -ої точки. Тоді

$$\vec{R}_{1i} = \vec{r}_i - R_1 \vec{n}_1 \quad (8)$$

$$\vec{R}_{2i} = \vec{r}_i - R_2 \vec{n}_2 \quad (9)$$

Тоді сигнал, відбитий від системи розсіювачів буде зменшуватися пропорційно квадрату відстані до цілі [2]:

$$U_{inp}^2 = \frac{U_{inep}^2}{R_{1i}^2 R_{2i}^2} = \frac{U_{inep}^2}{(\vec{r}_i - R_1 \vec{n}_1)^2 (\vec{r}_i - R_2 \vec{n}_2)^2} \quad (10)$$

Сумарний сигнал, відбитий від всіх точок буде становити:

$$U_{\Sigma}^2 = \sum_{i=1}^N \frac{U_i^2}{(\vec{r}_i - R_1 \vec{n}_1)^2 (\vec{r}_i - R_2 \vec{n}_2)^2} \quad (11)$$

Враховуючи, що

$$\sigma = U_{прийм}^2 \quad (12)$$

сумарна ЕПР точок буде становити:

$$\sigma_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_i}{(\vec{r}_i - R_1 \vec{n}_1)^2 (\vec{r}_i - R_2 \vec{n}_2)^2} \quad (13)$$

ЕПР даної системи точок представлено на Рис. 6 та 7.

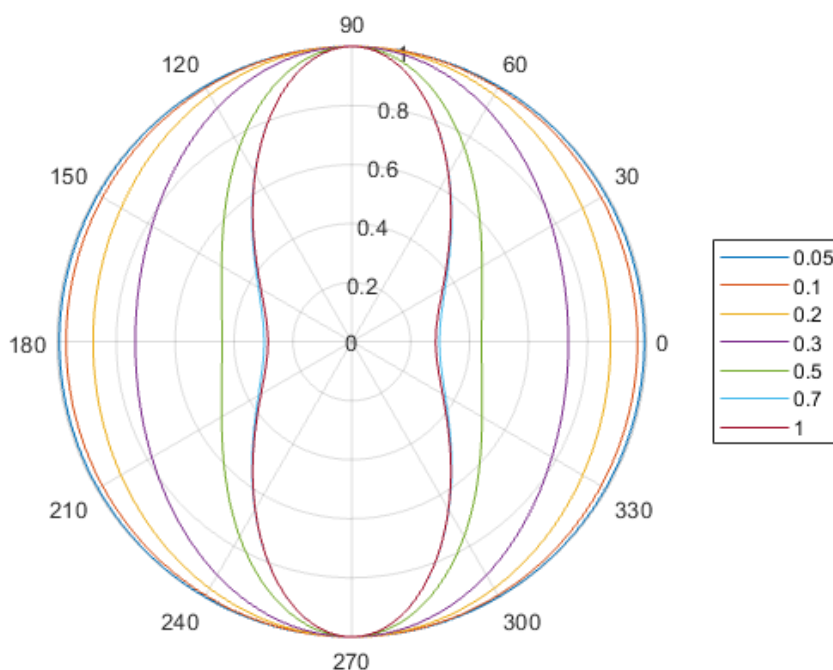


Рис. 6. Некогерентний випадок з дифракційним розсіюванням (ДР) розрахунку ЕПР системи з 3 точок в ближній зоні і відношенні параметра системи (відстані від початку координат до точок) a до довжини хвилі $a/\lambda=1$.

Fig. 6. Incoherent case with diffraction scattering system of 3 points in the near zone and ratio of the system parameter (distance from start point to points) a to wavelength $a/\lambda=1$.

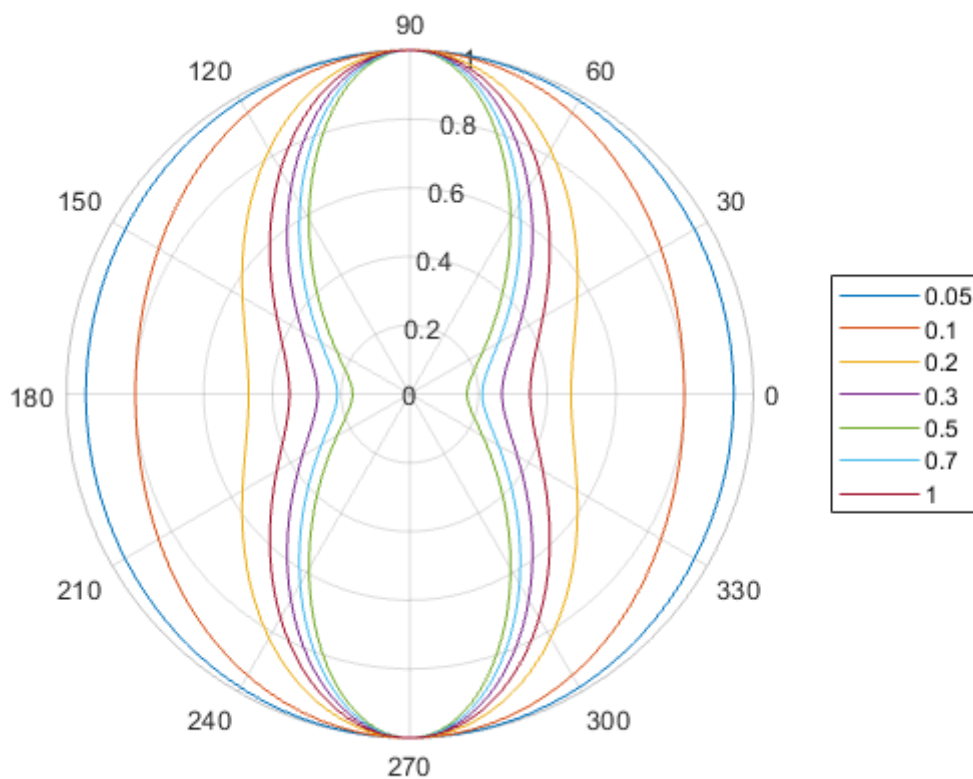


Рис. 7. Некогерентний випадок з ДР розрахунку ЕПР системи з 4 точок в ближній зоні при відношенні параметра системи (відстані від початку координат до точок) до довжини хвилі $a/\lambda=1$.

Fig. 7. Incoherent case with diffraction scattering system of 4 points in the near zone and ratio of the system parameter (distance from start point to points) a to wavelength $a/\lambda=1$.

КОГЕРЕНТНИЙ ВИПАДОК БЕЗ ДИФРАКЦІЙНОГО РОЗСІЮВАННЯ У БЛИЖНІЙ ЗОНІ

При розрахуванні ЕПР у ближній зоні можна врахувати не тільки дифракційне розсіювання, а й фазу сигналу [1].

Нехай на вході приймача маємо сигнал, який становить:

$$U_{ax} = U_{m\Sigma} \cos(\omega t - \varphi_\Sigma - \varphi_0) \quad (14)$$

$$U_{ex} = U_\Sigma \cos(\omega t - \varphi_0) \cos(\varphi_\Sigma) + U_\Sigma \sin(\omega t - \varphi_0) \sin(\varphi_\Sigma) \quad (15)$$

$$U_{m\Sigma}^2 \cos^2 \varphi_\Sigma = \left(\sum_i^N \cos \Delta\varphi_i \right)^2 = \sum_i^N \cos \Delta\varphi_i \sum_j^N \cos \Delta\varphi_j \quad (16)$$

$$U_{m\Sigma}^2 \sin^2 \varphi_\Sigma = \left(\sum_i^N \sin \Delta\varphi_i \right)^2 = \sum_i^N \sin \Delta\varphi_i \sum_j^N \sin \Delta\varphi_j \quad (17)$$

де

$$\Delta\varphi_i = \frac{2\pi}{\lambda} (R_{1i} + R_{2i}) \quad (18)$$

Тоді

$$U_{m\Sigma}^2 = \sum_{i,j}^N (U_{mi} U_{mj} \cos \Delta\varphi_i \cos \Delta\varphi_j + U_{mi} U_{mj} \sin \Delta\varphi_i \sin \Delta\varphi_j) \quad (19)$$

Беручи до уваги, що $\sigma = U^2$, можна записати рівняння (19) у вигляді:

$$\sigma_{m\Sigma} = \sum_{i,j}^N \left(\sqrt{\sigma_i \sigma_j} \cos \Delta\varphi_i \cos \Delta\varphi_j + \sqrt{\sigma_i \sigma_j} \sin \Delta\varphi_i \sin \Delta\varphi_j \right) \quad (20)$$

$$\sigma_{m\Sigma} = \sum_{i,j}^N \left(\begin{array}{l} \sqrt{\sigma_i \sigma_j} \cos \frac{2\pi}{\lambda} |2\vec{r}_i - R_1 \vec{n}_1 - R_2 \vec{n}_2|^* \\ * \cos \frac{2\pi}{\lambda} |2\vec{r}_j - R_1 \vec{n}_1 - R_2 \vec{n}_2|^* + \\ + \sqrt{\sigma_i \sigma_j} \sin \frac{2\pi}{\lambda} |2\vec{r}_i - R_1 \vec{n}_1 - R_2 \vec{n}_2|^* \\ * \sin \frac{2\pi}{\lambda} |2\vec{r}_j - R_1 \vec{n}_1 - R_2 \vec{n}_2|^* \end{array} \right) \quad (21)$$

ЕПР для різних систем із 3 та 4 точок, отримані за формулами (20) та (21) зображено на Рис. 8 і 10, а в порівнянні з ЕПР системи точок в дальній зоні на Рис. 9 і 11.

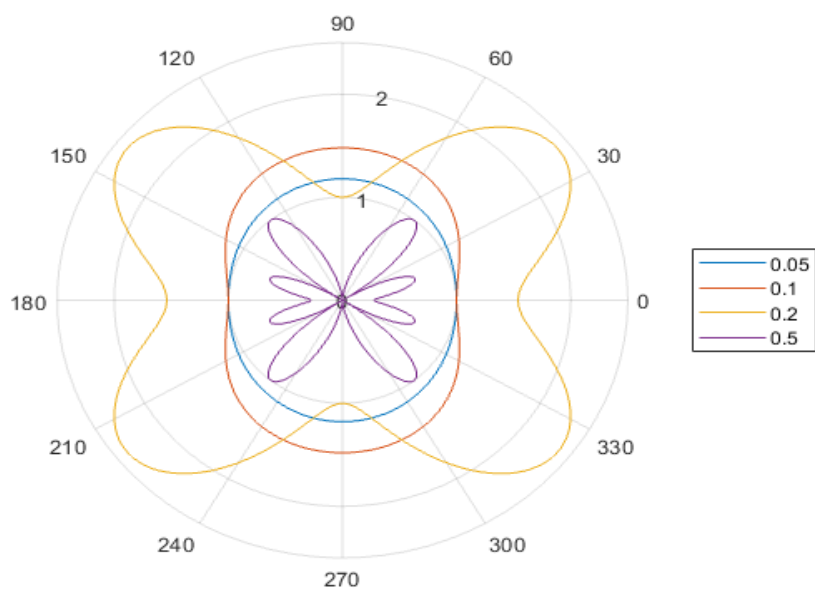


Рис. 8. . Когерентний випадок без ДР розрахунку ЕІР системи з 3 точок в ближній зоні.
 Fig. 8. Coherent case without diffraction scattering system of 3 points in the near zone.

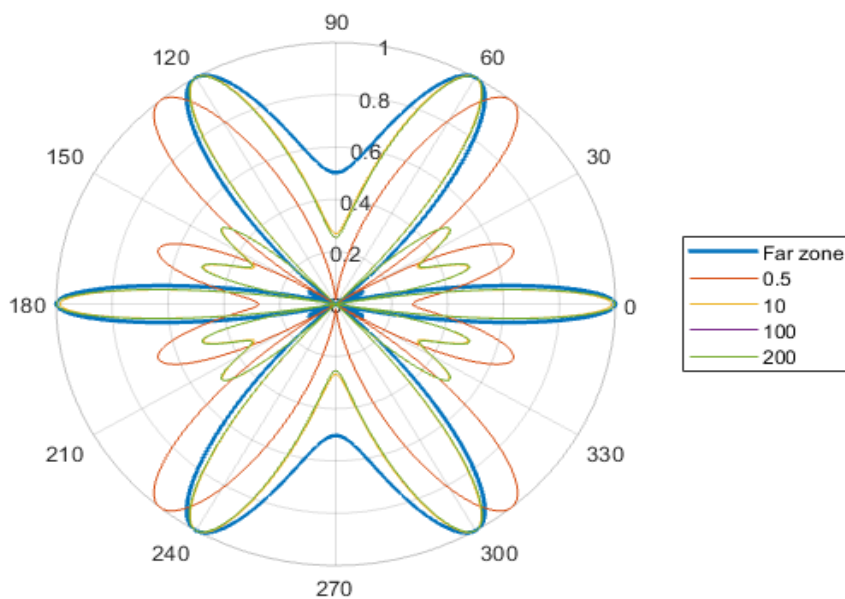


Рис. 9. Когерентний випадок без ДР розрахунку ЕІР системи з 3 точок в ближній зоні.
 Fig. 9. Coherent case without diffraction scattering system of 3 points in the near zone.

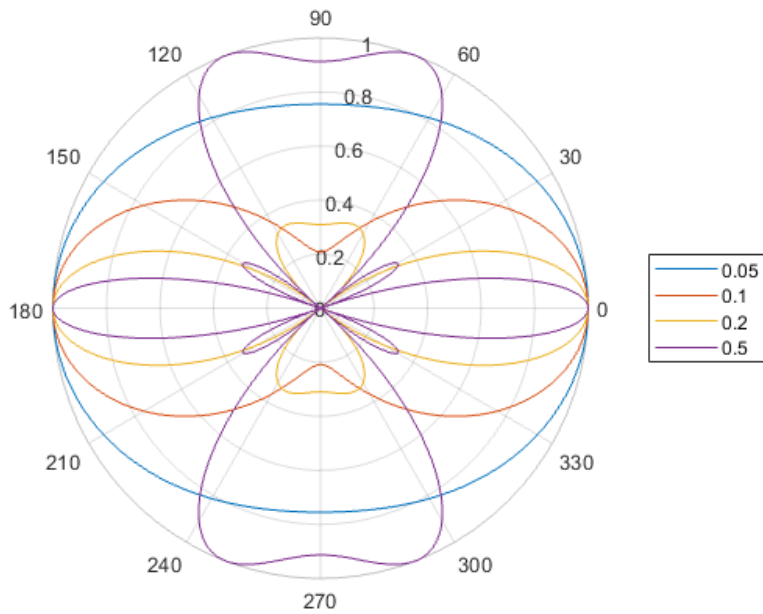


Рис. 10. Когерентний випадок без ДР розрахунку ЕПР системи з 4 точок в ближній зоні.
Fig. 10. Coherent case without diffraction scattering system of 4 points in the near zone.

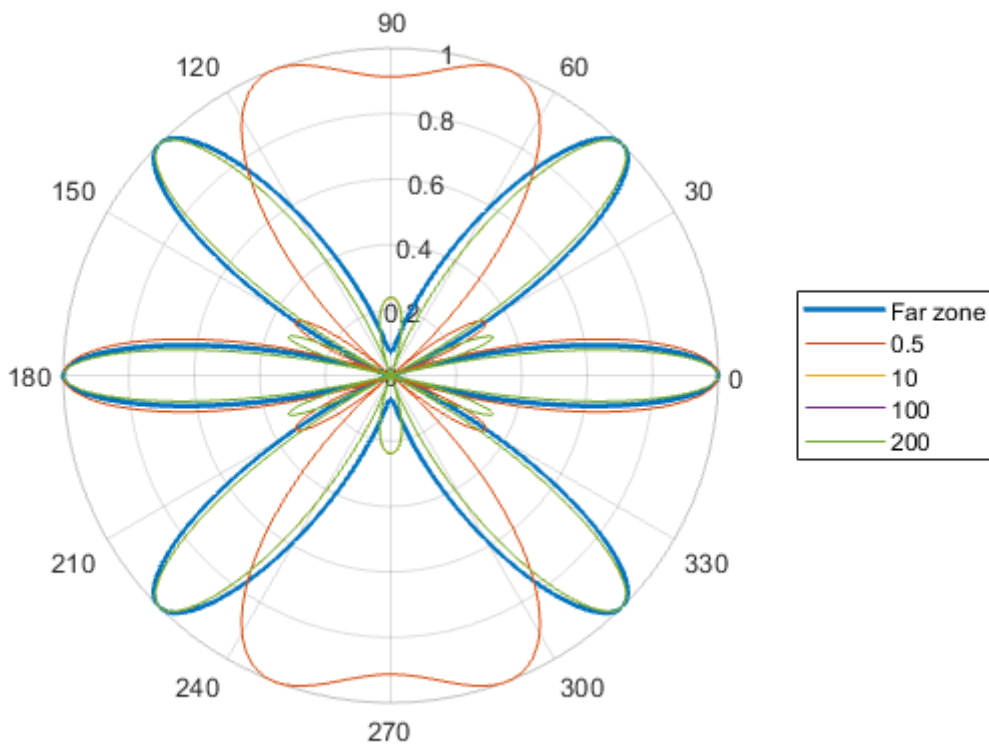


Рис. 11. Когерентний випадок без ДР розрахунку ЕПР системи з 4 точок в ближній зоні.
Fig. 11. Coherent case without diffraction scattering system of 4 points in the near zone.

КОГЕРЕНТНИЙ ВИПАДОК З ДИФРАКЦІЙНИМ РОЗСПОВАННЯМ У БЛИЖНІЙ ЗОНІ

Виходячи із двох попередніх випадків, можна вивести формулу для когерентного випадку з дифракційним розсіюванням. З рівняння (10) і (19):

$$U_{m\Sigma}^2 = \sum_{i,j}^N \left(\frac{U_{mi}U_{mj}}{R_{1i}R_{2i}R_{1j}R_{2j}} \cos \Delta\varphi_i \cos \Delta\varphi_j + \frac{U_{mi}U_{mj}}{R_{1i}R_{2i}R_{1j}R_{2j}} \sin \Delta\varphi_i \sin \Delta\varphi_j \right) \quad (22)$$

Враховуючи формули (8), (9), (12) і (18), отримуємо наступне рівняння:

$$U_{m\Sigma}^2 = \sum_{i,j}^N \left(\begin{aligned} & \frac{\sqrt{\sigma_{mi}\sigma_{mj}}}{(\vec{r}_i - R_1\vec{n}_1)(\vec{r}_i - R_2\vec{n}_2)(\vec{r}_j - R_1\vec{n}_1)(\vec{r}_j - R_2\vec{n}_2)} * \\ & * \cos \frac{2\pi}{\lambda} |2\vec{r}_i - R_1\vec{n}_1 - R_2\vec{n}_2| \cos \frac{2\pi}{\lambda} |2\vec{r}_j - R_1\vec{n}_1 - R_2\vec{n}_2| + \\ & + \frac{\sqrt{\sigma_{mi}\sigma_{mj}}}{(\vec{r}_i - R_1\vec{n}_1)(\vec{r}_i - R_2\vec{n}_2)(\vec{r}_j - R_1\vec{n}_1)(\vec{r}_j - R_2\vec{n}_2)} * \\ & * \sin \frac{2\pi}{\lambda} |2\vec{r}_i - R_1\vec{n}_1 - R_2\vec{n}_2| \sin \frac{2\pi}{\lambda} |2\vec{r}_j - R_1\vec{n}_1 - R_2\vec{n}_2| \end{aligned} \right) \quad (23)$$

ЕПР даної системи розсіювачів зображено на Рис. 12 та 13.

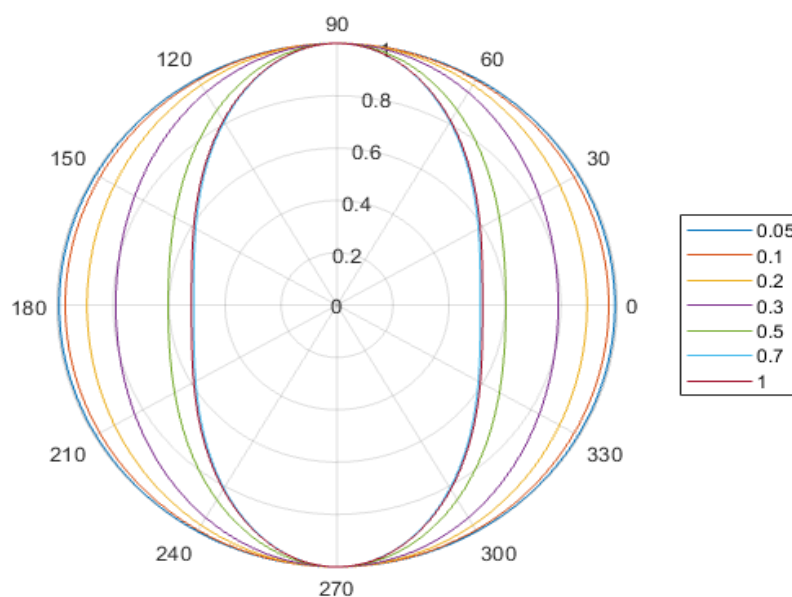


Рис. 12. Когерентний випадок з ДР розрахунку ЕПР системи з 3 точок в ближній зоні.

Fig. 12. Coherent case with diffraction scattering system of 3 points in the near zone.

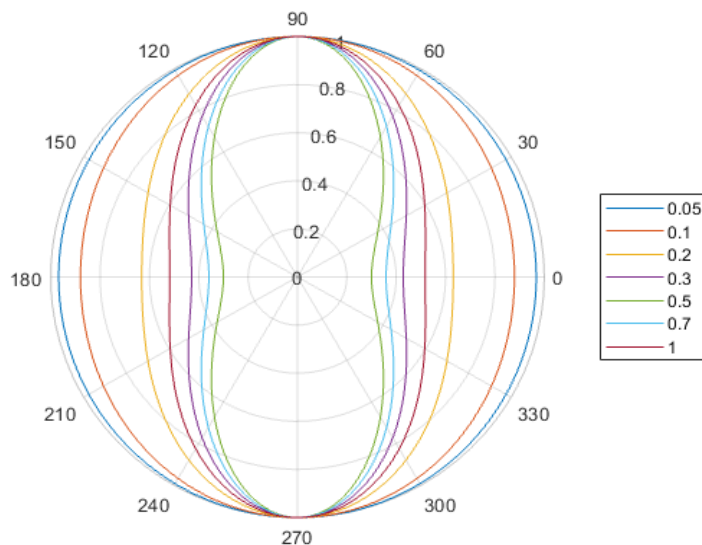


Рис. 13. Когерентний випадок з ДР розрахунку ЕПР системи з 4 точок в ближній зоні.

Fig. 13. Coherent case with diffraction scattering system of 4 points in the near zone..

КОГЕРЕНТНИЙ ВИПАДОК БЕЗ ДИФРАКЦІЙНОГО РОЗСПОВАННЯ У ДАЛЬНІЙ ЗОНІ

Для дальньої зони можна вважати, що R_1 і R_2 прямують до нескінченності. Тому фаза буде залежати лише від відстані між двома точками вздовж напрямку на передавач і приймач (Рис. 14).

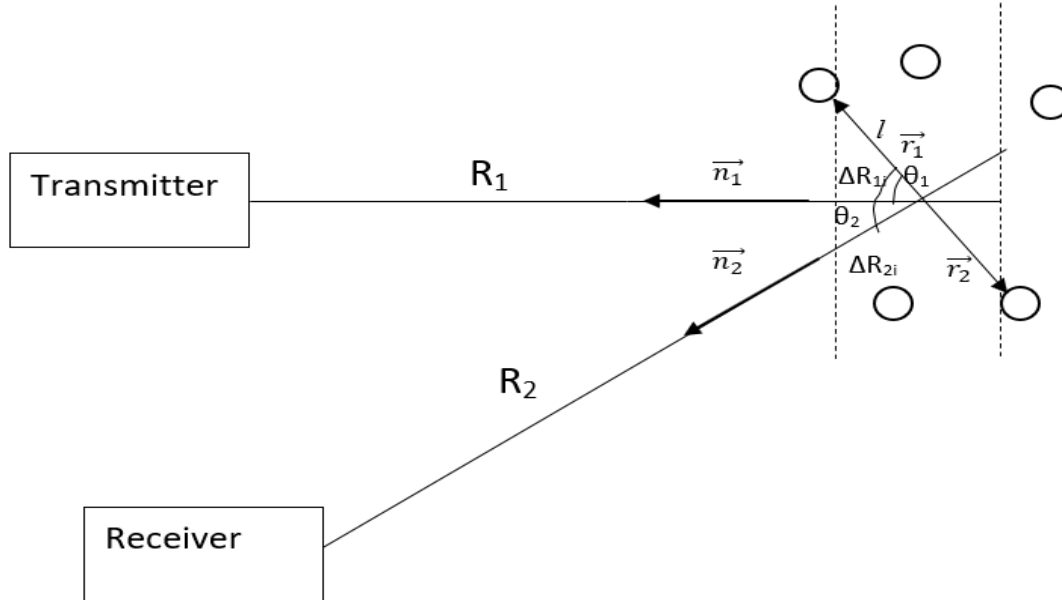


Рис. 14. Система N-розсіювачів у дальній зоні.

Fig. 14. System of N scatters in far zone.

Тоді можна ввести позначення, що різниця ходу від передавача до i -ої точки становитиме ΔR_{1i} , а до приймача - ΔR_{2i} .

$$\Delta R_{1i} = \vec{n}_1 \vec{r}_i \quad (24)$$

$$\Delta R_{2i} = \vec{n}_2 \vec{r}_i \quad (25)$$

Тоді різниця фаз буде становити

$$\Delta \varphi_i = \frac{2\pi}{\lambda} (\Delta R_{1i} + \Delta R_{2i}) = \frac{2\pi}{\lambda} (\vec{n}_1 \vec{r}_i + \vec{n}_2 \vec{r}_i) \quad (26)$$

Підставивши рівняння (26) в (20), отримуємо:

$$\sigma_{m\Sigma} = \sum_{i,j}^N \left(\begin{aligned} & \sqrt{\sigma_i \sigma_j} \cos \frac{2\pi}{\lambda} (\vec{n}_1 \vec{r}_i + \vec{n}_2 \vec{r}_i) \cos \frac{2\pi}{\lambda} (\vec{n}_1 \vec{r}_j + \vec{n}_2 \vec{r}_j) + \\ & + \sqrt{\sigma_i \sigma_j} \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\vec{n}_1 \vec{r}_i + \vec{n}_2 \vec{r}_i) \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\vec{n}_1 \vec{r}_j + \vec{n}_2 \vec{r}_j) \end{aligned} \right) \quad (27)$$

ЕПР дальньої зони для даної системи точок зображено на Рис. 15 та 16.

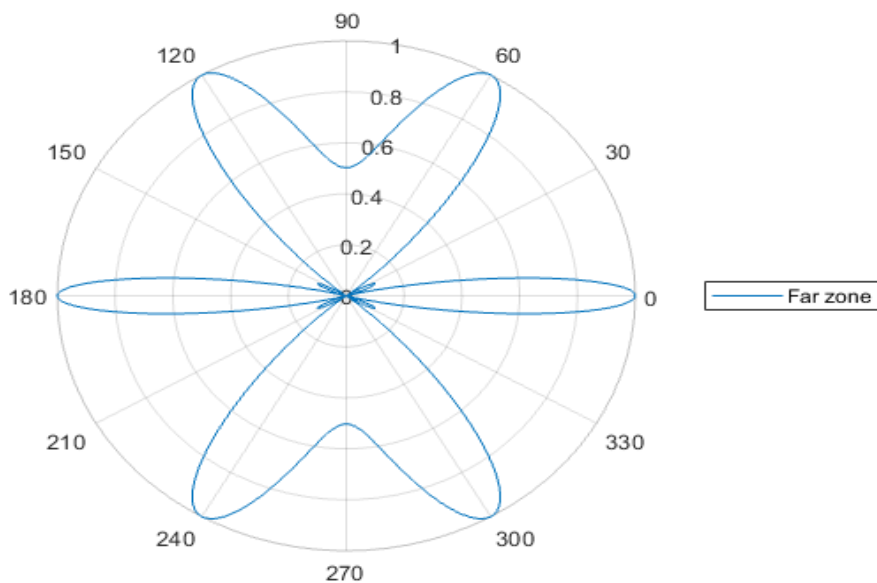


Рис. 15. Когерентний випадок без ДР розрахунку ЕПР системи з 3 точок в дальній зоні.
Fig. 15. Coherent case without diffraction scattering system of 3 points at the far zone.

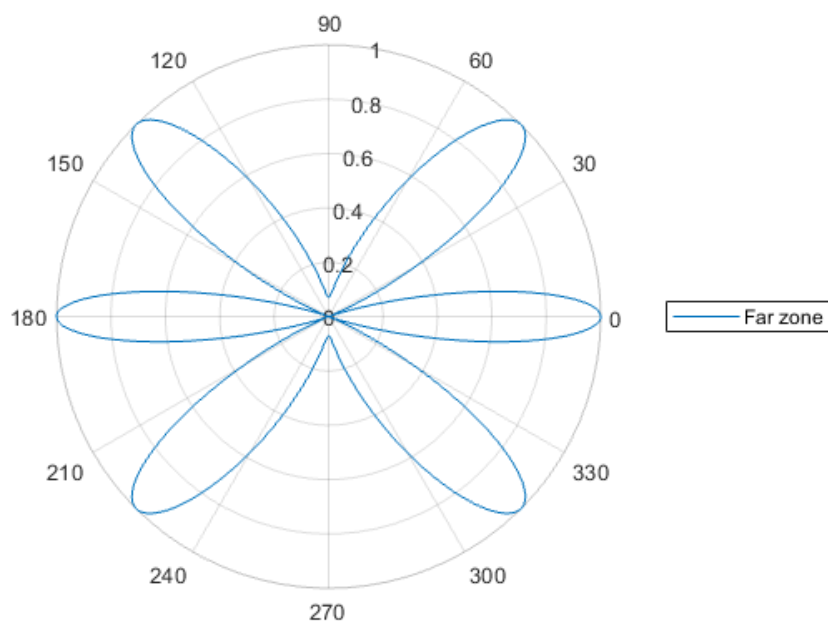


Рис. 16. Когерентний випадок без ДР розрахунку ЕПР системи з 4 точок в дальній зоні.
Fig. 16. Coherent case without diffraction scattering system of 4 points at the far zone.

ВИСНОВКИ

У даній роботі отримані рівняння для обчислення ЕПР системи точок у ближній та дальній зоні при наявності або відсутності дифракційного розсіювання.

Визначення ЕПР знаходить широке прикладне застосування у радіолокації. Нині є важливим питання зменшення ЕПР різних об'єктів, як от літаків чи кораблів. Тому дуже важливо покращувати методи чисельного моделювання реальних об'єктів за допомогою програмного забезпечення. У даній роботі було створено модель реальний об'єкту (прямокутної пластини) за допомогою різних положень декількох точкових відбивачів, що може бути далі використано у моделюванні більш складних структур.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bassem R. Mahafza. Introduction to Radar Analysis. 2nd Edition. New York: Chapman and Hall/CRC. 2017. 460 с.
2. Mirabel Cerqueira Rezende, Malmonge Martin, Roselena Faez, Marcelo Alexandre Souza Miacci, Evandro Luis Nohara. Radar Cross Section Measurements (8-12 GHz) of Magnetic and Dielectric Microwave Absorbing Thin Sheets. Revista de Física Aplicada e Instrumentac, ao, vol. 15, no. 1.Грудень, 2002
3. Сайт «radartutorial.eu» - Режим доступу: <https://www.radartutorial.eu/01.basics/Radar%20Cross%20Section.en.html>. 20.09.2022
4. Eugene F. Knott, John F. Shaeffer ; Michael T. Tuley. Radar Cross Section (2nd Edition). 2004. 626 с.
5. Eugene F. Knott . Radar cross-section measurements. New York: Springer New York. 2012. 546 с.

REFERENCES

1. Bassem R. Mahafza. Introduction to Radar Analysis. 2nd Edition. New York: Chapman and Hall/CRC. 2017. 460 с.
2. Mirabel Cerqueira Rezende, Malmonge Martin, Roselena Faez, Marcelo Alexandre Souza Miacci, Evandro Luis Nohara. Radar Cross Section Measurements (8-12 GHz) of Magnetic and Dielectric Microwave Absorbing Thin Sheets. Revista de Física Aplicada e Instrumentac, ao, vol. 15, no. 1.Грудень, 2002
3. Сайт «radartutorial.eu» - Режим доступу: <https://www.radartutorial.eu/01.basics/Radar%20Cross%20Section.en.html>. 20.09.2022
4. Eugene F. Knott, John F. Shaeffer ; Michael T. Tuley. Radar Cross Section (2nd Edition). 2004. 626 с.
5. Eugene F. Knott . Radar cross-section measurements. New York: Springer New York. 2012. 546 с.

Стаття надійшла до редакції: 25 жовтня 2022 р.
Рекомендовано до друку: 29 листопада 2022 р.

DIFFRACTION OF AN ELECTROMAGNETIC WAVE ON A COUNTLESS NUMBER OF SCATTERERS

M. M. Legenkiy, M. A. Buhai

V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

Topicality. The task of finding the radar cross-section (RCS) of complex objects is of great importance. Usually, when creating radar stations, RCS is measured on real targets. The possibility of accurate theoretical calculation according to the previously created algorithm accelerated the development of new radar stations.

The goal of the work. The method of work is to create an algorithm for calculating the RCS of real targets with the help of their simulation using systems of brightly unpolarized points in space.

Materials and methods. MATLAB computer support was used to solve the problems of modeling complex objects with the help of a large number of bright non-polarized points. All levels were derived from or from the radar level.

The results. Different levels are obtained for the near zone without and with diffractive scattering, as well as similar levels for the far zone and all graphs are given with an overview.

Conclusions. Thus, in this paper, the definition of effective surface scattering was formulated, and formulas for systems with 3 and 4 scatterers were given for the incoherent case without diffraction scattering for the near and far zones, for the incoherent case with diffraction scattering for the near zone, for the coherent case without diffraction scattering for the far and near zones, for the coherent case with diffraction scattering for the near zone. Numerical calculations performed at these levels were also presented.

KEY WORDS: radar cross-section, RCS, radar equation, countable set of scatterers.

The article was received by the editors: 25 October 2022.

The article is recommended for printing: 29 November 2022