

УДК 621.396.67

Я.О. Белевщук

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

## МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗСІЯННЯ АНТЕН НАЗЕМНИХ ЗАСОБІВ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ В САНТИМЕТРОВОМУ ДІАПАЗОНІ

Проведений огляд методів розрахунку характеристик розсіяння дзеркальної та багатоелементної антени. Приведені основні розрахункові співвідношення і показана методика розрахунку характеристик розсіяння дзеркальної та багатоелементної антени за допомогою запропонованих методів. Отримані та проаналізовані результати розрахунків характеристик розсіяння дзеркальної антени станції виявлення цілей бойової машини зенітного гарматно-ракетного комплексу «Тунгуска» і антенної решітки радіолокаційної станції П-18.

**Ключові слова:** характеристики розсіяння, багатоелементна антена, дзеркальна антена, фізична оптика.

### Постановка проблеми і аналіз літератури

Відмінною рисою сучасних наземних зразків озброєння є наявність в їх складі великої кількості різних радіоелектронних засобів, що використовують різноманітні антенні системи. До найбільш поширених з них відносять дзеркальні і багатоелементні антени, що знаходяться на борту наземної бойової техніки. Причому, особливість експлуатації таких антен полягає в тому, що вони можуть знаходитися в складеному і розгорненому положенні, що позначається на зміні ефективної поверхні розсіяння (ЕПР) техніки, що має в своєму розпорядженні такі антени. Цей факт стає характерною особливістю вторинного випромінювання даного класу наземної військової техніки, антени якої природним чином стають істотною демаскуючою ознакою.

У ряді робіт [1 – 4] розглянуті методи розрахунку ЕПР повітряних і наземних об'єктів, проте характеристикам розсіяння антенних систем, що знаходяться на їх борту, приділено недостатньо уваги. Тому стає актуальним оцінити внесок таких антен в загальне поле, розсіяне наземним об'єктом, шляхом розрахунку їх ЕПР.

**Метою роботи** є розрахунок характеристик розсіяння дзеркальних і багатоелементних антен наземних засобів протиповітряної оборони в 3-х сантиметровому діапазоні зондуючих хвиль і аналіз результатів розрахунку на прикладі дзеркальної антени (ДА) станції виявлення цілей (СВЦ) бойової машини (БМ) зенітного гарматно-ракетного комплексу (ЗГРК) «Тунгуска» і багатоелементної антени наземної радіолокаційної станції (РЛС) П-18.

### Основний матеріал

**Основні розрахункові співвідношення.** Для розрахунку ЕПР антен обох типів використовується вираз, що дозволяє знаходити ЕПР будь-якого об'єкту:

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|\vec{p}^{\text{пр}} \cdot \vec{E}^{\text{пр}}(R \vec{r}^0)|^2}{|\vec{p} \cdot \vec{E}(\vec{R}^0)|^2}, \quad (1)$$

де  $R$  – відстань від розсіювача до точки прийому;  $\vec{p}^{\text{пр}}$ ,  $\vec{p}$  – орти поляризації, відповідно, приймальної та передавальної антени;  $\vec{E}(\vec{R}^0)$  – вектор електричної напруженості електромагнітної хвилі, що розповсюджується у напрямі орта  $-\vec{R}^0$ ;  $\vec{E}^{\text{пр}}(R \vec{r}^0)$  – вектор електричної напруженості електромагнітної хвилі, розсіяної об'єктом у напрямі орта  $\vec{r}^0$  (рис. 1).

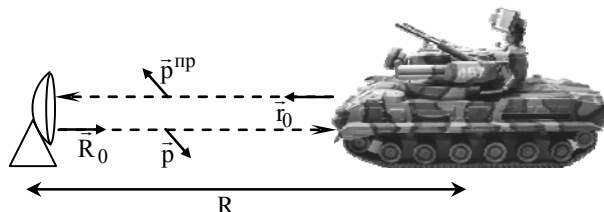


Рис. 1. До розрахунку ЕПР

Враховуючи той факт, що сучасні РЛС використовують, в основному, 3-х сантиметровий діапазон довжин хвиль [5], для розрахунку характеристик розсіяння ДА БМ ЗГРК «Тунгуска», дзеркало якої є вирізкою з параболічного циліндру [6], природно застосовувати метод фізичної оптики (ФО).

Суть методу ФО полягає в знаходженні струму на поверхні ДА, який виникає внаслідок падіння хвилі на освітлену поверхню дзеркала. Далі, знаючи поверхневий струм, стає можливим обчислити поле, що випромінюється дзеркалом, в будь-якій точці простору. Обчислення поля антени проводиться з використанням методу суперпозиції – поверхня дзеркала розбивається на малі трикутні ділянки такого розміру, який, в першому наближенні, дозволяє

вважати їх за плоских, знаходиться поле, що випромінює кожна така ділянка і, потім, підсумовуються отримані результати [7].

Метод розрахунку ЕПР об'єктів великих електричних розмірів дозволяє враховувати 4 основних шляхи розповсюдження відбитої об'єктом хвилі у присутності підстилаючої поверхні [2]. На рис. 2 представлені кругові діаграми ЕПР ДА у присутності сухого суглинку при куті місця зондування 0,5°.

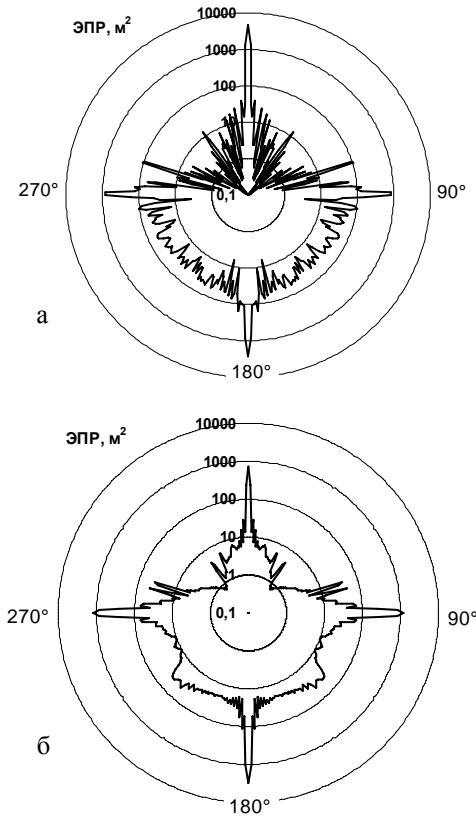


Рис. 2. Діаграми ЕПР ДА БМ ЗГРК «Тунгуска»: а – когерентна ЕПР б – некогерентна ЕПР

Під некогерентною ЕПР (НЕПР) розуміється сума ЕПР всіх фрагментів, що складають поверхню об'єкту, при заданому напрямі зондування. При цьому, НЕПР не залежить від фазових запізнювань відбитих сигналів, розсіяних різними фрагментами конструкції. Тому залежність НЕПР від частоти зондуючого сигналу і ракурсу опромінювання є такою, що набагато менш осцилює в порівнянні з когерентною ЕПР.

Аналіз діаграм показує, що при зондуванні в напрямках «в лоб» і «в бік» ЕПР ДА може сягати декількох тисяч м<sup>2</sup>. У решті діапазону азимутальних кутів ЕПР складає, в основному, десятки м<sup>2</sup>.

Поряд з ДА широко використовуються багатоеlementні антени, типовим зразком яких є багатоеlementна антена наземної РЛС П-18. Вона являє собою антенну решітку, яка складається з шістнадцяти випромінюючих елементів, розташованих в два поверхи (рис. 3). Кожен елемент антенної решітки є антеною типу «хвильовий канал». Вона є стрілою, на якій розміщується група паралельних вібра-

торів: рефлектор, активний випромінювач і чотири директори. Стріла і вібратори є циліндрами (рис. 4).

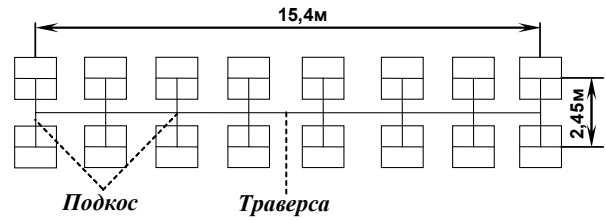


Рис. 3. Антена решітка РЛС П-18

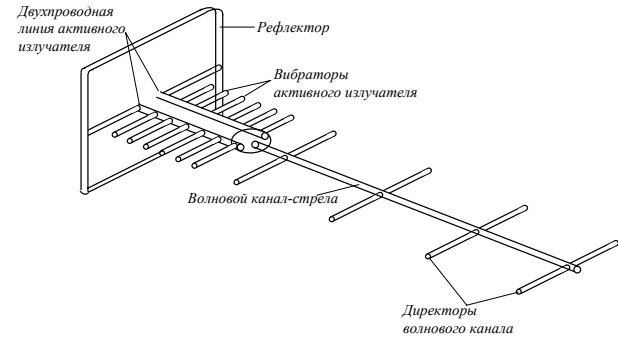


Рис. 4. Елемент антени РЛС П-18 – антена типу «хвильовий канал»

Для розрахунку ЕПР такої антенної решітки, що складається з елементів-циліндрів, сумірних з довжиною зондуючої хвилі, використовується метод розрахунку, що дозволяє знаходити поле, розсіяне окремим циліндром [8].

У якості основної розрахункової формули для знаходження розсіяного циліндром поля в крапці, що не належить циліндру, використовується інтегральне представлення поля, розсіяного ідеально провідним розсіювачем S:

$$j\omega\vec{p}\vec{E}^{рас}(\vec{x}_0) = \int_S \vec{N}^\perp(\vec{X}) \vec{E}_0^{eT}(\vec{X}/\vec{x}_0, \vec{p}) ds, \quad (2)$$

де  $\vec{E}_0^{eT}(\vec{X}/\vec{x}_0, \vec{p})$  – поле допоміжного точкового електричного диполя з вектор-моментом  $\vec{p}$ , розташованого в точці  $\vec{x}_0$ , що не належить циліндру,  $\vec{N}^\perp(\vec{X}) = \vec{n} \times \vec{N}(\vec{X})$ ,  $\vec{n}$  – внутрішня по відношенню до S нормаль,  $\vec{N}(\vec{X})$  – повне дифрагроване поле,  $(\vec{X})$  – точка на поверхні циліндру.

На рис. 5 наведені результати розрахунків ЕПР циліндра завдовжки 1 м і радіусом 0,006 м. Максимальні значення ЕПР циліндра відповідають азимутальним напрямкам зондування в околиці 90° (напрям, ортогональний створюючій циліндра). Мінімальні значення ЕПР циліндра відповідають азимутальним напрямкам зондування в околиці 180° (напрям, ортогональний основі циліндра).

Для отримання ЕПР антени РЛС П-18 проводиться підсумовування полів всіх елементів хвильових каналів, що є циліндрами. Відстань між циліндрами багато більше їх діаметрів, тому в першому

наближенні взаємодія між циліндрами не враховується. На рис. 6 представлені розрахунки усередненої ЕПР моделі антенної решітки РЛС П-18 при довжині зондувальної хвилі 3 см і куті місця зондування 0°. Усереднювання проводилося в 10-градусних азимутальних секторах у всьому азимутальному діапазоні кутів без урахування впливу підстилюючої поверхні.

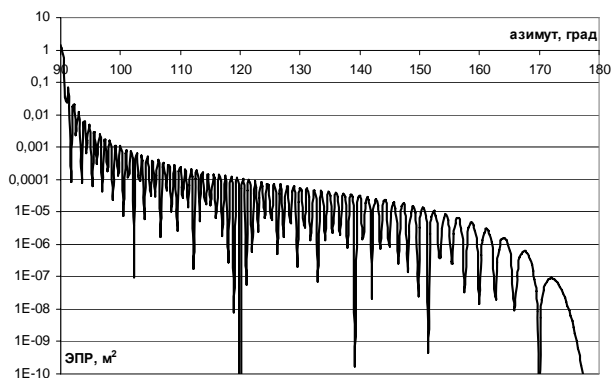


Рис. 5. Діаграма зворотнього вторинного випромінювання (ЕПР) циліндра

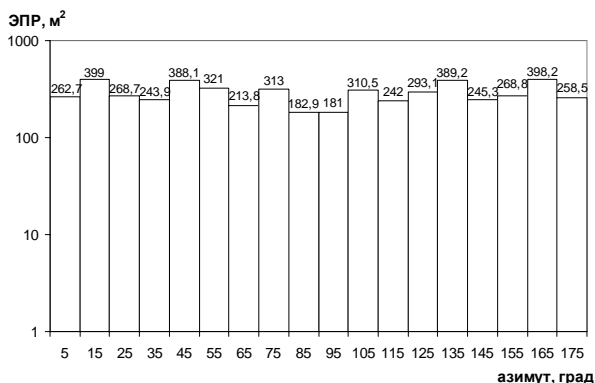


Рис. 6. ЕПР антенної решітки РЛС П-18

## Висновки

1. Проведений огляд методів розрахунку характеристик розсіяння дзеркальної і багатоеlementної антени. Методи дозволяють проводити розрахунки

ЕПР інших дзеркальних антен різних розмірів і видів, а також антенних решіток з довільною кількістю елементів.

2. Приведені результати розрахунків характеристик розсіяння ДА БМ ЗГРК «Тунгуска» і багатоеlementної антени РЛС П-18.

## Список літератури

1. Лагарьков А.Н. Фундаментальные и прикладные проблемы стелс-технологий / А.Н. Лагарьков, М.А. Погосян // Вестник Российской академии наук. – 2003. – Т. 73, № 9. – С. 779-787.
2. Василец В.А. Методика расчета ЭПР идеально проводящего наземного объекта / В.А. Василец // Зб. наук. пр. – Х.: ХВУ, 2001. – Вып. 7 (37). – С. 90-92.
3. Метод расчета ЭПР наземного объекта с неидеально отражающей поверхностью / О.И. Сухаревский, В.А. Василец, А.З. Сазонов, К.И. Ткачук // Межведомственный тематический научный сборник "Рассеяние электромагнитных волн". – Таганрог: ТГРУ, 2003. – Вып. 12. – С. 9-15.
4. Снижение радиолокационной заметности воздушных и наземных объектов / О.И. Сухаревский, В.А. Василец, К.И. Ткачук, С.А. Горельшнев // Зб. наук. пр. – Х.: ХВУ, 2004. – Вып. 1 (48). – С. 63-67.
5. Ткачук К.И. Оценка радиолокационной заметности наземного вооружения и военной техники: дис. ... канд. техн. наук: 05.12.04 / Ткачук Константин Иванович. – Х.: ХВУ, 2002. – 130 с.
6. Изделие 1РЛ144. Техническое описание. ЦА1.640.001.ТО. – 1982.
7. Математическое моделирование диаграммы направленности зеркальной антенной системы с учетом подстилающей поверхности / Я.А. Белевщук, С.В. Нечитайло, О.И. Сухаревский и др. // Зб. наук. пр. ХУ ПС. – Х., 2007. – № 3 (15). – С. 23-27.
8. Белевщук Я.А. Метод расчета вторичного излучения антенны РЛС П-18 / Я.А. Белевщук, В.А. Василец, С.В. Нечитайло // Зб. наук. пр. ХУ ПС. – Х., 2008. – № (16) – С. 20-25.

Надійшла до редколегії 7.11.2008

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

## МЕТОДЫ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЯНИЯ АНТЕНН НАЗЕМНЫХ СРЕДСТВ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ В САНТИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Я.А. Белевщук

Проведен обзор методов расчета характеристик рассеяния зеркальной и многоэлементной антенны. Приведены основные расчетные соотношения и показана методика расчета характеристик рассеяния зеркальной и многоэлементной антенны с помощью предложенных методов. Получены и проанализированы результаты расчетов характеристик рассеяния зеркальной антенны станции обнаружения целей боевой машины зенитного пушечно-ракетного комплекса «Тунгуска» и антенной решетки радиолокационной станции П-18.

**Ключевые слова:** характеристики рассеяния, многоэлементная антенна, зеркальная антенна, физическая оптика.

## METHODS OF CALCULATION OF DESCRIPTIONS OF DISPERSION OF AERIALS OF SURFACE FACILITIES OF AIR DEFENSE ARE IN CENTIMETRE RANGE

Y. A. Belevschuk

The review of methods of calculation of descriptions of dispersion of antenna mirror and array are is conducted. Basic calculation correlations are resulted and the method of calculation of descriptions of dispersion of mirror antenna and array is shown by the offered methods. The results of calculations of descriptions of dispersion of mirror antenna of the station of finding out the aims of fighting machine of zenithal gun-rocket complex «Tunguska» and array of the radio-location station of P-18 are resulted and analysed.

**Keywords:** descriptions of dispersion, multiple antenna, mirror antenna, physical optics.