

УДК 621.396.96

В.О. Василець, Я.О. Белевщук

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

## ЗАГАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗСІЯННЯ ЗРАЗКІВ НАЗЕМНОЇ ТЕХНІКИ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

*Розроблені моделі поверхонь зразків наземної техніки Повітряних Сил Збройних Сил України: радіолокатора підсвіту і наведення 30Н6 ЗРК С300ПС; самохідної вогневої установки 9А310М1 ЗРК БУКМ1; напівпричепи 6УФ РЛС 19Ж6. Отримані кругові діаграми зворотного вторинного випромінювання, а також гістограми середніх і медіанних значень ефективної поверхні розсіяння даних моделей. Проаналізовані результати розрахунків ефективної поверхні розсіяння і видані рекомендації по зниженню вторинного випромінювання наземних об'єктів в певних секторах опромінення.*

**Ключові слова:** ефективна поверхня розсіяння, наземні об'єкти.

### Вступ

**Постановка проблеми і аналіз літератури.** В останні десятиліття засоби повітряного нападу грають в локальних війнах все більшу роль. Їх безпосередньому застосуванню передують розвідка об'єктів, які вибрані як цілі для завдання ударів. Прикриття від повітряних ударів озброєння і військової техніки (ВТ), а також інших наземних об'єктів здійснюють наземні засоби Повітряних Сил (ПС), що призначені для своєчасного виявлення і ураження повітряних цілей. Виходячи з покладених завдань наземні засоби ПС є одними з першочергових цілей, знищення яких стає важливим завданням для успішного проведення військової операції. Для виконання цього завдання використовуються різні види розвідки, серед яких одним з основних виступає радіолокаційна розвідка. Даний вид розвідки дозволяє ідентифікувати і виділяти об'єкт на тлі інших по характерним, властивих лише йому, ознакам. Виникає необхідність отримання і аналізу радіолокаційних характеристик (РЛХ) даних об'єктів.

Така інформація дозволить виявити напрями зондування об'єкту, на яких рівень розсіяного ним поля буде максимальним.

У ряді робіт [1 – 5], присвячених даній тематичі, упор був зроблений на розрахунок радіолокаційних характеристик кожного зразка ВТ окремо без порівняння з іншими. Тому актуальним є розрахунок РЛХ деяких зразків наземної техніки ПС і аналіз отриманих результатів з метою виявлення характерних для даного виду наземної ВТ особливостей їх радіолокаційних характеристик.

**Мета роботи** – розрахунок РЛХ зразків наземної ВТ ПС, аналіз і виявлення їх загальних особливостей, видача рекомендацій по зниженню вторинного випромінювання наземних об'єктів в певних секторах опромінення.

### Основний матеріал

Для отримання РЛХ зразків наземної ВТ, що знаходиться на озброєнні Повітряних Сил Збройних Сил України використовуються математичні моделі поверхні об'єктів, які розроблені на основі методик апроксимації поверхні об'єкту складної геометричної форми, що має злами і локальні ділянки розсіяння крайкового типу [1, 2]. Розрахунок РЛХ проводиться з використанням методу розрахунку ефективної поверхні розсіяння (ЕПР), який враховує найбільш значимі шляхи розповсюдження електромагнітних хвиль, що перевідбиті землею поверхнею [1, 2].

Розрахунки проводяться для частоти випромінювання зондуючого сигналу 10ГГц (довжина хвилі 3 см), при куті зондування 10° відносно підстилаючої поверхні з параметрами сухого суглинку (відносна діелектрична проникливість  $\epsilon = 3 + j0,4$ ).

Крок зміни азимута зондування 1°, азимут відлічується від носового ракурсу (0° – зондування з фронту, 180° – зондування з тилу), поляризація – горизонтальна.

Наводиться ЕПР, некогерентна ЕПР (НЕПР), тобто сума ЕПР всіх фрагментів, що складають поверхню об'єкту, при заданому напрямі зондування без врахування фази розсіяного поля і гістограми середніх і медіанних ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів зондування. Значення ЕПР наводяться в квадратних метрах.

**Основні розрахункові співвідношення.** Основною характеристикою, яка визначає властивості об'єкту, що відбиває електромагнітні хвилі, є ЕПР [1]:

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

де  $R$  – відстань між передавачем і об'єктом;  $\vec{E}(\vec{R}^0)$  – вектор електричної напруженості плоскої електромагнітної хвилі, що поширюється у напрямі орта  $-\vec{R}^0$ ;  $\vec{E}^{np}(\vec{R} \vec{r}^0)$  – вектор електричної напруженості електромагнітної хвилі, що розсіяна об'єктом у напрямі орта  $\vec{r}^0$ ;  $\vec{p}^{np}, \vec{p}$  – орти поляризації приймальної і передавальної антен відповідно. Передбачається, що зондування проводиться плоскою монохроматичною електромагнітною хвилею однічної амплітуди.

Для розрахунку вторинного випромінювання об'єктів складної форми (2) їх поверхня умовно розділяється на дві частини: „гладкі” ділянки і локальні ділянки розсіяння крайкового типу

$$\vec{E}^{np} = \vec{E}_{гл}^{np} + \vec{E}_{кр}^{np}. \quad (2)$$

Враховуючи чотири найбільш значимих шляхи поширення хвиль [2], вираз для розрахунку розсіяного поля (2) набуває наступного вигляду:

$$\vec{E}^{np} = \sum_{i=1}^4 (\vec{E}_{гл}^{np} + \vec{E}_{кр}^{np}), \quad (3)$$

де  $i$  – цілочисельна змінна, що вказує на шлях поширення електромагнітної хвилі.

З урахуванням (2) і (3) вираз (1) набере вигляд:

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \times \frac{\left| \vec{p}^{np} \cdot \sum_{i=1}^4 [\vec{E}_{гл}^{np}(\vec{R}\vec{r}^0) + \vec{E}_{кр}^{np}(\vec{R}\vec{r}^0)] \right|^2}{\left| \vec{p} \cdot \vec{E}(\vec{R}^0) \right|^2}. \quad (4)$$

Для розрахунку зворотного вторинного випромінювання гладких ділянок поверхні  $S^{гл}$  об'єкту складної форми використовується метод, приведений у роботах [1, 6]. Поле  $\vec{E}_{гл}^{np}$  можна отримати методом фізичної оптики, знаючи значення тангенціальних складових векторів електричної і магнітної напруженості падаючого поля на поверхні  $S^{гл}$  [7]. Використовуючи лему Лоренца [8], розсіяне електромагнітне поле  $\vec{E}^{гл}$  у напрямі орта  $\vec{r}^0$  для ділянок поверхні з неідеальною провідністю (діелектричний матеріал) можна представити у вигляді

$$\vec{p}^{np} \cdot \vec{E}_{гл}^{np}(\vec{R} \vec{r}^0) = -jk_0 \frac{\exp(jk_0 R)}{4\pi R} \times \int_{S^{гл}} \left( \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} (\vec{p}^{np} \cdot \vec{H}_{\perp}) + (\vec{p}^{np} \times \vec{r}^0) \cdot \vec{E}_{\perp} \right) \times \exp(-jk_0(\vec{r}^0 \cdot \vec{x})) ds, \quad (5)$$

де  $k_0 = \omega \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$  – хвильове число у вільному просторі;  $\omega$  – кругова частота;  $\epsilon_0, \mu_0$  – проникливості

вільного простору;  $\vec{E}_{\perp} = \vec{n} \times \vec{E}$ ,  $\vec{H}_{\perp} = \vec{n} \times \vec{H}$ ;  $\vec{n}$  – орт зовнішньої нормалі до поверхні  $S^{гл}$ .

Розрахунок електромагнітного поля, розсіяного крайковими ділянками поверхні, здійснюється за допомогою методу [2, 6], що використовує інтегральне представлення типу Стреттона-Чу і його асимптотичний вираз в дальній зоні:

$$\vec{H}_{кр}(\vec{r}^0) = jk_0 \frac{\exp(jk_0 |\vec{x}|)}{4\pi |\vec{x}|} \vec{I}(\vec{r}^0) \times \vec{r}^0; \quad (6)$$

$$\vec{E}_{кр} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \vec{H}_{кр}(\vec{r}^0) \times \vec{r}^0; \quad (7)$$

$$\vec{I}(\vec{r}^0) = \int_{S^{кр}} \left[ \vec{H}_{\perp} - \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} (\vec{E}_{\perp} \times \vec{r}^0) \right] \exp[-jk_0(\vec{r}^0 \cdot \vec{x})] ds, \quad (8)$$

де  $S^{кр}$  – поверхня інтегрування, що охоплює крайкові ділянки;  $\vec{x}$  – радіус-вектор точки на поверхні  $S^{кр}$ .

**Радіолокатор підсвіту і наведення 30Н6 ЗРК С300ПС.** Зовнішній вигляд радіолокатора представлений на рис. 1. Відповідно до конструкції 30Н6 для проведення розрахунків РЛХ була створена модель його поверхні, яка представлена на рис. 2. Поверхня апроксимована за допомогою ділянок 93 еліпсоїдів. Злами поверхні були промодельовані за допомогою 87 прямих крайкових ділянок розсіяння.

На рис. 3 і 4 приведені кругові діаграми ЕПР і НЕПР відповідно. Значення НЕПР є доброю і досить стійкою оцінкою ЕПР в певному діапазоні зондуючих частот і ракурсів опромінення цілі.

На рис. 5 приведені середні і медіанні значення ЕПР для діапазонів в  $20^\circ$ .



Рис. 1. Радіолокатор підсвіту і наведення 30Н6

**Самохідна вогнева установка 9А310М1 ЗРК БУКМ1.** Зовнішній вигляд самохідної вогневої установки представлений на рис. 6.

Відповідно до конструкції 9А310М1 для проведення розрахунків РЛХ була створена модель її поверхні, яка представлена на рис. 7. Поверхня ап-

роксимована за допомогою ділянок 105 еліпсоїдів. Злами поверхні були промодельовані за допомогою 53 прямих крайкових ділянок розсіяння.

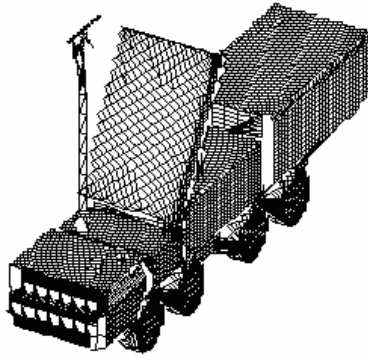


Рис. 2. Поверхня моделі 30Н6

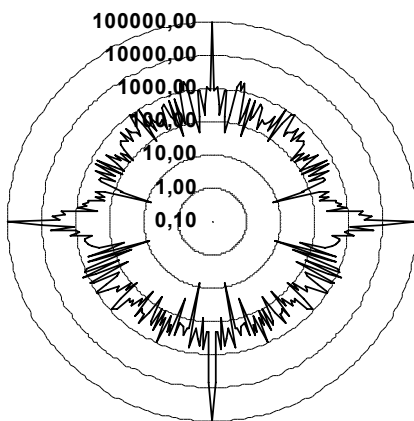


Рис. 3. Кругова діаграма ЕПР моделі 30Н6

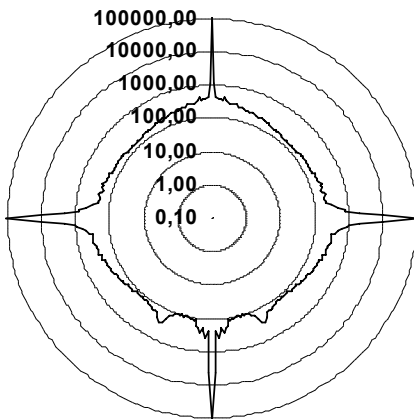


Рис. 4. Кругова діаграма НЕПР моделі 30Н6

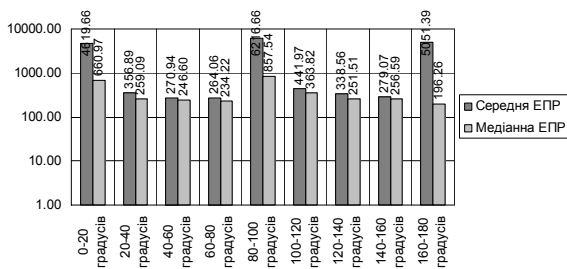


Рис. 5. Середні і медіанні ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів зондування 30Н6



Рис. 6. Самохідна вогнева установка 9А310М1

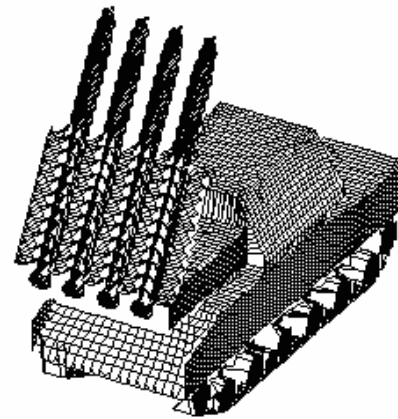


Рис. 7. Поверхня моделі 9А310М1

На рис. 8 і 9 приведені кругові діаграми ЕПР і НЕПР відповідно.

На рис. 10 приведені середні і медіанні значення ЕПР для діапазонів в 20°.

**Напівпричіп 6УФ РЛС 19Ж6.** Зовнішній вигляд напівпричіпа представлений на рис. 11. Відповідно до конструкції напівпричіпа 6УФ для проведення розрахунків РЛХ була створена модель його поверхні, яка представлена на рис. 12. Поверхня апроксимована за допомогою ділянок 60 еліпсоїдів. Злами поверхні були промодельовані за допомогою 73 прямих крайкових ділянок розсіяння.

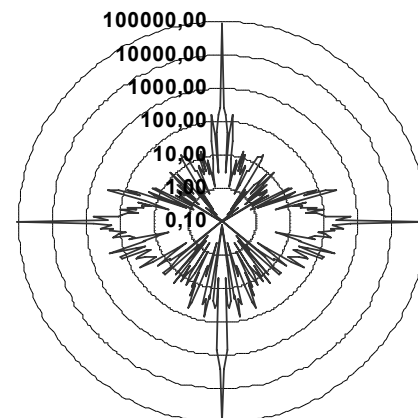


Рис. 8. Кругова діаграма ЕПР моделі 9А310М1

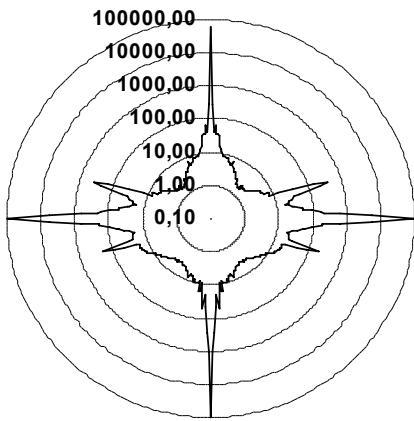


Рис. 9. Кругова діаграма НЕПР моделі 9А310М1

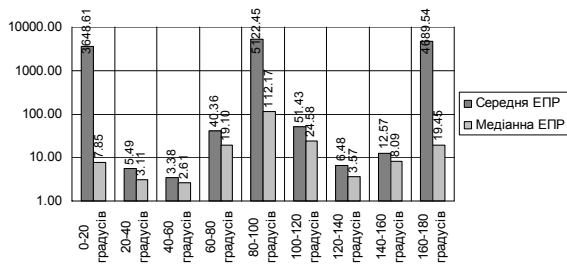


Рис. 10. Середні і медіанні ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів зондування 9А310М1



Рис. 11. Напівпричеп 6УФ РЛС 19Ж6

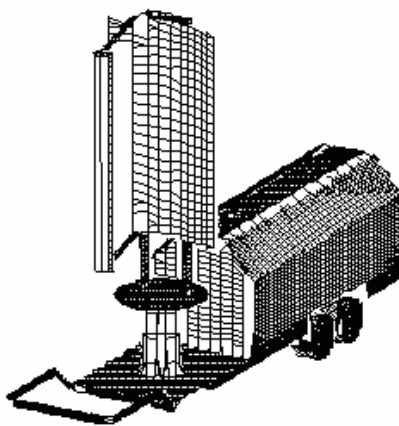


Рис. 12. Поверхня моделі 6УФ

На рис. 13 і 14 приведені кругові діаграми ЕПР і НЕПР відповідно. На рис. 15 приведені середні і медіанні значення ЕПР для діапазонів в 20°.

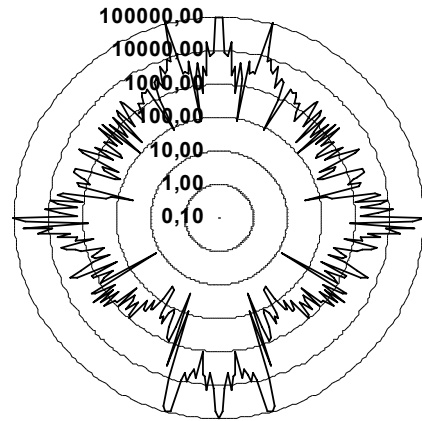


Рис. 13. Кругова діаграма ЕПР моделі 6УФ

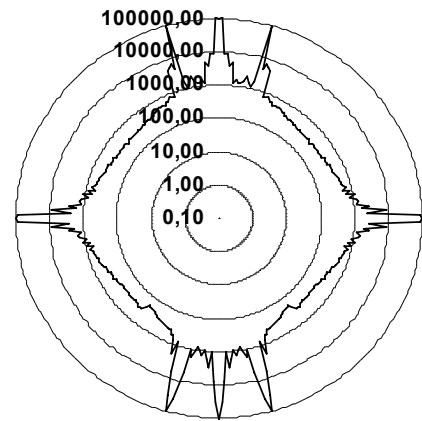


Рис. 14. Кругова діаграма НЕПР моделі 6УФ

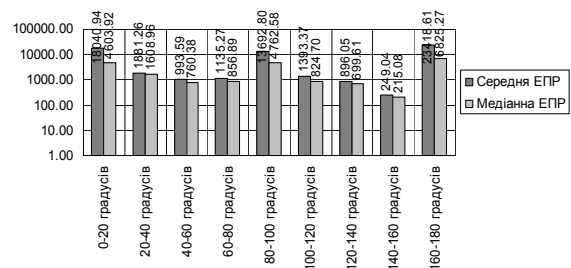


Рис. 15. Середні і медіанні ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів зондування 6УФ

### Висновки

1. Розроблені моделі поверхонь радіолокатора підсвіту і наведення 30Н6 ЗРК С300ПС, самохідної вогневої установки 9А310М1 ЗРК БУКМ1, напівпричеп 6УФ РЛС 19Ж6.

2. Проведені розрахунки РЛХ вказаних моделей, в результаті яких отримані ЕПР, некогерентна ЕПР, гістограми середніх і медіанних ЕПР для двадцятиградусних діапазонів азимутів зондування. Середні значення ЕПР у всьому азимутному діапазоні за винятком фронтального, бічного і тильного напрямів зондування складають: для моделі радіо-

локатора підсвіту і наведення 30Н6 – 324 м<sup>2</sup>; для моделі самохідної вогневої установки 9А310М1 – 20 м<sup>2</sup>; для моделі напівпричепа 6УФ РЛС 19Ж6 – 1090 м<sup>2</sup>. При зондуванні в околиці азимутних кутів 0°, 90°, 180° спостерігається різке зростання ЕПР. Дана особливість поведінки ЕПР характерна для всіх розглянутих моделей і пояснюється наявністю великих плоских і протяжних ділянок поверхні, довгих локальних ділянок розсіювання крайкового типу і куткових відбивачів, що утворені корпусом об'єкту і підстилаючою поверхнею. На даних напрямках середні значення ЕПР істотно вище за середні значення в останньому діапазоні і досягають для моделі 30Н6 – 5300 м<sup>2</sup> (більш ніж в 16,4 рази), для моделі 9А310М1 – 4490 м<sup>2</sup> (більш ніж в 225 разів), для моделі 6УФ – 18400 м<sup>2</sup> (більш ніж в 16,9 рази).

3. Для зниження ЕПР наземного об'єкту в тильних, бічних і фронтальних напрямках слід понизити рівень поля, розсіяного плоскими елементами конструкції, що мають великі розміри і які орієнтовані ортогонально напрямку зондуючого сигналу. Одним із засобів, що зменшують помітність об'єкту, є радіопоглинаючі покриття. Проте для великих площин такий спосіб зниження ЕПР буде досить дорогим. Тому, альтернативним і широко застосовним способом зниження ЕПР може бути використання навісних сіток або панелей, орієнтованих так, щоб виключити перевідбиття зондуючого сигналу від підстилаючої поверхні і протяжних ділянок корпусу об'єкту у зворотному напрямі. Це дозволить понизити рівень поля, розсіяного об'єктом, у напрямі дже-рела зондування.

## Список літератури

1. Оптимизация характеристик рассеяния изделия 478ДУ: Отчет о НИР "Конвейер" (промежуточный). – Х.: ХВУ, 2000. – 45 с.; Х.: ХВУ, 2001. – 49 с.
2. Василюк В.А. Снижение средней эффективной поверхности рассеяния объекта сложной формы при оптимальном распределении ограниченного количества радиопоглощающего материала на его поверхности / В.А. Василюк // Радиотехника: Всеукраїнська міжвузівська науково-технічна конференція. – 2002. – Вып. 129. – С. 69-72.
3. Эффективная поверхность рассеяния (ЭПР) объектов с неидеально отражающей поверхностью, имеющих изломы / О.И. Сухаревский, В.А. Василюк, С.А. Горельщиков, С.В. Нечитайло, К.И. Ткачук // Зарубежная радиоэлектроника. – 2001. – № 6. – С. 41-48.
4. Радиолокационные характеристики летательных аппаратов / Под ред. Л.Т. Гучкова – М.: Радио и связь, 1985. – 236 с.
5. Рассеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами: монография / О.И. Сухаревский, В.А. Василюк, С.В. Кукобко и др.; под ред. О.И. Сухаревского. – Х.: ХУПС, 2009. – 468 с.
6. Фундаментальные и прикладные задачи теории рассеяния электромагнитных волн / Ю.К. Сиренко, И.В. Сухаревский, О.И. Сухаревский, Н.П. Яшина; под ред. Ю.К. Сиренко. – Х.: Крок, 2000. – 344 с.
7. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны; 2-е изд., перераб. и доп. / Л.А. Вайнштейн. – М.: Радио и связь, 1988. – 440 с.
8. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн: учебник для вузов / Б.М. Петров. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 558 с.

Надійшла до редколегії 17.03.2009

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

## ОБЩИЕ ОСОБЕННОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЯНИЯ ОБРАЗЦОВ НАЗЕМНОЙ ТЕХНИКИ ВОЗДУШНЫХ СИЛ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ УКРАИНЫ

В.А. Василюк, Я.А. Белевщук

Разработаны модели поверхностей образцов наземной техники Воздушных Сил Вооруженных Сил Украины: радиолокатора подсвета и наведения 30Н6 ЗРК С300ПС; самоходной огневой установки 9А310М1 ЗРК БУКМ1; полуприцепа 6УФ РЛС 19Ж6. Получены круговые диаграммы обратного вторичного излучения, а также гистограммы средних и медианных значений эффективной поверхности рассеяния данных моделей. Проанализированы результаты расчетов эффективной поверхности рассеяния и выданы рекомендации по снижению вторичного излучения наземных объектов в определенных секторах облучения.

**Ключевые слова:** эффективная поверхность рассеяния, наземные объекты.

## THE GENERAL FEATURES OF CHARACTERISTICS OF DISPERSION OF SAMPLES OF LAND TECHNICS OF AIR FORCES OF ARMED FORCES OF UKRAINE

V.O. Vasilets, Y.O. Belevschuk

Models of surfaces of samples of land technics of Air Forces of Armed Forces of Ukraine are developed: a illumination radar and promptings 30N6 surface-to-air missile system S300PS; self-propelled firing station 9A310M1 surface-to-air missile system BUKM1; the semitrailer 6UF all-round looking radar 19ZH6. Circular diagrammes of return secondary radiation, and also the histograms of averages and median values of an effective surface of dispersion of the given models are received. Results of calculations of an effective surface of dispersion are analysed and recommendations about decrease in secondary radiation of land objects in certain sectors of an irradiation are given out.

**Keywords:** effective surface of dispersion, surface objects.