

УДК 621.396.96

Я.О. Белевщук

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ЗАСТОСУВАННЯ ІДЕАЛЬНО ВІДБИВАЮЧИХ ПАНЕЛЕЙ І РАДІОПОГЛИНАЮЧИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ПОМІТНОСТІ НАЗЕМНОЇ ТЕХНІКИ

Розроблена модель поверхні радіолокатора підсвіту і наведення 30Н6 зенітного ракетного комплексу С300ПС, що оснащена ідеально відбиваючими панелями і частково покрита радіопоглинаючим матеріалом. Проведено порівняння результатів розрахунків ефективної поверхні розсіяння вказаної моделі радіолокатора з результатами розрахунків ефективної поверхні розсіяння моделі радіолокатора без засобів зниження радіолокаційної помітності. Оцінено вплив комплексного застосування засобів зниження радіолокаційної помітності на ефективну поверхню розсіяння типового зразка наземної військової техніки.

**Ключові слова:** ефективна поверхня розсіяння, відбиваючі панелі, радіопоглинаючі матеріали.

### Вступ

#### Постановка проблеми і аналіз літератури.

Постійне вдосконалення високоточної зброї зажадало інтенсивного пошуку шляхів захисту наземних військових об'єктів від поразки. Одним з ефективних знайдених рішень стали заходи щодо важкого виявлення наземного об'єкту шляхом зниження його радіолокаційної помітності (РЛП), що веде, у свою чергу, до збільшення живучості озброєння і військової техніки (ОВТ) в умовах сучасного бою.

До найбільш ефективних методів зниження РЛП відносять оптимізацію геометрії поверхні і застосування радіопоглинаючих матеріалів і покриттів (РПМ і РПП) [1, 2]. Для можливості застосування будь-якого з даних методів найсприятливішим випадком є створення нових зразків наземної військової техніки. Задовольнити вимоги по низькій РЛП до існуючих зразків ОВТ стає скрутним завданням. Конструктивні особливості техніки можуть зробити неможливим зміну її поверхні для зниження її ефективної поверхні розсіяння (ЕПР). Використання РПП є досить ефективним способом зниження РЛП, проте унаслідок високої вартості РПМ і технології їх нанесення покрити більшість поверхні об'єкту стає проблематичним.

Успішним рішенням задачі зниження РЛП в даному випадку може бути використання навісних сіток або панелей, що зводять до мінімуму рівень відбитого сигналу у напрямі джерела зондування. Елементи конструкції наземного об'єкту, які неможливо закрити відбиваючими панелями, можуть бути покриті РПМ.

У ряді робіт [3 – 6], присвячених даній тематиці, наводяться результати розрахунків ЕПР різних об'єктів, для зниження якої використовується РПП. Проте, дослідження можливості зниження ЕПР наземних об'єктів з використанням в комплексі відби-

ваючих панелей і РПМ не проводилися.

Тому, розрахунок ЕПР наземного об'єкту із застосуванням засобів зниження РЛП за рахунок комплексного використання відбиваючих панелей і РПП є актуальною задачею.

**Мета роботи** – розрахунок ЕПР наземного об'єкту, прихованого відбиваючими панелями і частково покритого РПМ, аналіз отриманих результатів і оцінка впливу комплексного застосування засобів зниження РЛП на ЕПР типового зразка наземної військової техніки.

### Основний матеріал

Одним із зразків наземної військової техніки з поверхнею складної геометричної форми є радіолокатор підсвіту і наведення (РПН) 30Н6 зенітного ракетного комплексу С300ПС (рис. 1). З метою зниження його РЛП пропонується використовувати відбиваючі панелі, які закривають автомобіль МАЗ 543 від всіх азимутальних напрямів зондування. Панелі орієнтовані так, щоб виключити перевідбиття зондуючого сигналу від підстилаючої поверхні і протяжних ділянок корпусу об'єкту у зворотному напрямі.

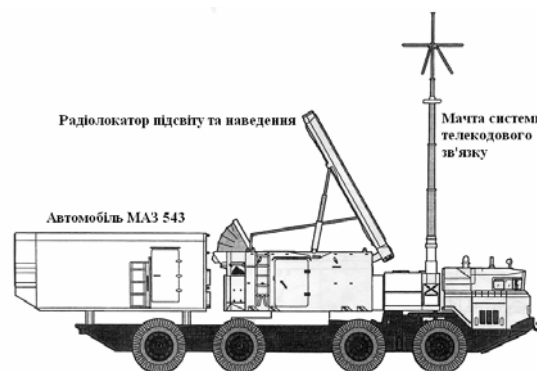


Рис. 1. Радіолокатор підсвіту та наведення 30Н6

Для проведення розрахунків ЕПР РПН 30Н6, оснащеного панелями, була розроблена математична модель його поверхні (рис. 2). При цьому були використані методи апроксимації поверхні об'єкту складної геометричної форми, викладені в [7, 8].

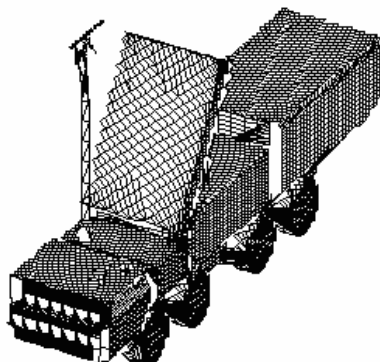


Рис. 2а. Модель РПН 30Н6

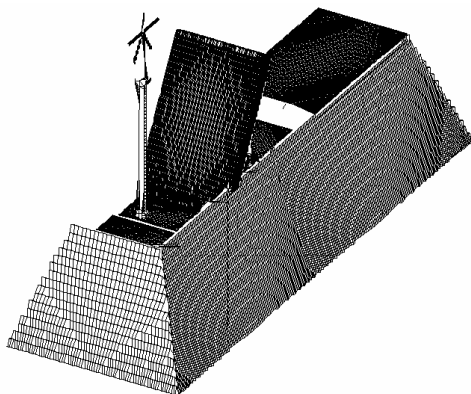


Рис. 2б. Модель РПН 30Н6, вкритого панелями

Розрахунок ЕПР проводиться з використанням методу, що враховує найбільш значимі шляхи розповсюдження електромагнітних хвиль, перевідбитих землею поверхнею [7 – 9]. Частота випромінювання зондувального сигналу складає 10ГГц (довжина хвилі 3 см), кути зондування  $\gamma$  відносно підстилаючої поверхні – 1°, 10°, 30° з параметрами сухого суглинку (відносна діелектрична проникність  $\epsilon = 3 + j0,4$ ). Крок зміни азимута зондування 1°, азимут відлічується від носового ракурсу (0° – зондування з фронту, 180° – зондування з тилу), поляризація – горизонтальна.

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

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

де  $R$  – відстань між передавачем і об'єктом;  $\vec{E}(\vec{R}^0)$  – вектор електричної напруженості плоскої електро-

магнітної хвилі, що розповсюджується у напрямі орта  $-\vec{R}^0$ ;  $\vec{E}^{np}(R \vec{r}^0)$  – вектор електричної напруженості електромагнітної хвилі, що розсіяна об'єктом у напрямі орта  $\vec{r}^0$ ;  $\vec{p}^{np}$ ,  $\vec{p}$  – орти поляризації приймальної та передавальної антен відповідно. Передбачається, що зондування проводиться плоскою монохроматичною електромагнітною хвилею однієї амплітуди. Для розрахунку вторинного випромінювання об'єктів складної форми (2) їх поверхню умовно ділиться на дві частини: „гладкі” ділянки і локальні ділянки розсіяння крайкового типу:

$$\vec{E}^{np} = \vec{E}_{gl}^{np} + \vec{E}_{kr}^{np}, \quad (2)$$

які знаходяться за допомогою леми Лоренца та інтегрального представлення типу Стреттона-Чу і його асимптотичного виразу в далекій зоні відповідно [7].

**Результати розрахунків.** На рис. 3 – 5 приведені кругові діаграми некогерентної ЕПР (НЕПР) моделі РПН 30Н6. Тонка лінія відповідає НЕПР моделі, зображеної на рис. 2а, жирна лінія відповідає НЕПР моделі, зображеної на рис. 2б. Під НЕПР розуміється сума ЕПР всіх фрагментів, які складають поверхню об'єкту, при заданому напрямі зондування без врахування фази розсіяного поля.

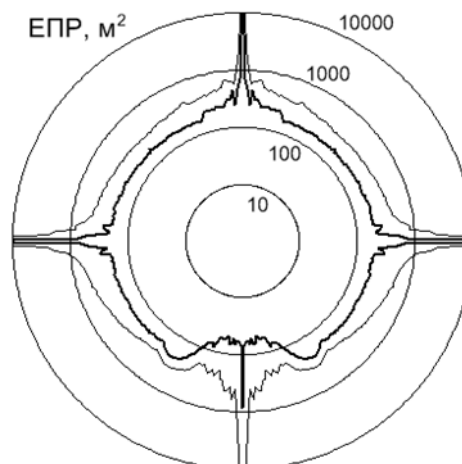


Рис. 3. НЕПР моделі РПН 30Н6,  $\gamma = 1^\circ$

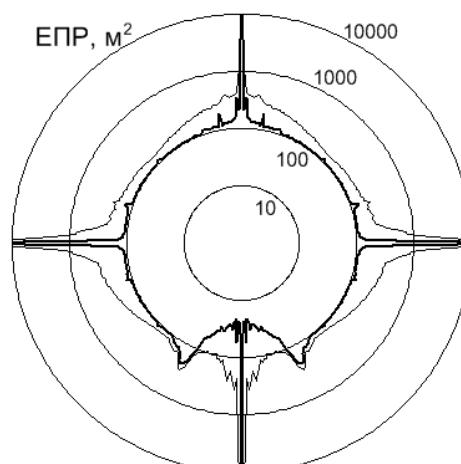
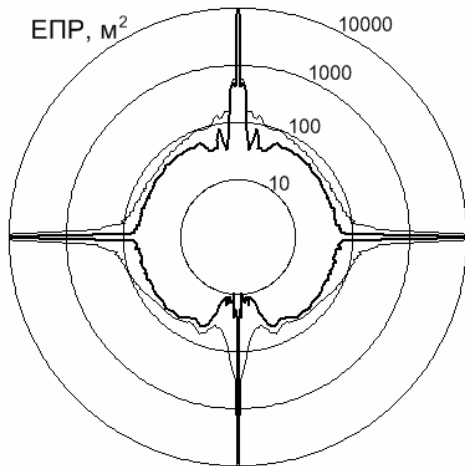


Рис. 4. НЕПР моделі РПН 30Н6,  $\gamma = 10^\circ$

Рис. 5. НЕПР моделі РПН 30Н6,  $\gamma = 30^\circ$ 

Аналіз діаграм показує, що використання відбиваючих панелей призводить до відчутного зниження ЕПР моделі РПН у всьому азимутальному діапазоні. При  $\gamma = 1^\circ$  середнє значення ЕПР знизилася з  $786,4 \text{ м}^2$  до  $198,4 \text{ м}^2$  або в 3,96 рази, при  $\gamma = 10^\circ$  – з  $434,5 \text{ м}^2$  до  $113,8 \text{ м}^2$  або в 3,82 рази, при  $\gamma = 30^\circ$  – з  $197,15 \text{ м}^2$  до  $63,29 \text{ м}^2$  або в 3,12 рази. Бічна поверхня РПН і його моделі орієнтована ортогонально до підстилаючої поверхні, що сприяє створенню куткового відбивача, який забезпечує перевідбиття падаючої хвилі у напрямі джерела зондування. Панелі, що нахилені в даному випадку під кутом в  $20^\circ$  по відношенню до нормалі до підстилаючої поверхні, руйнують цей кутковий відбивач, що забезпечує перевідбиття падаючої хвилі в напрямках, відмінних від приходу зондуючого сигналу. В результаті спостерігається зниження ЕПР моделі для всіх розглянутих кутів місця у всьому азимутальному діапазоні.

Одним з елементів конструкції РПН 30Н6 є висувна щогла системи телекодового зв'язку (СТЗ). У загальному випадку вона є циліндром, твірна якого створює кутковий відбивач із земною поверхнею для будь-якого азимутального напрямку і вносить вагомий вклад до загального поля, розсіяного РПН, через свою довжину. Для зниження ЕПР щогли пропонується нанести на неї РПМ. З метою виявлення ефективності такого способу зниження РЛП були проведені розрахунки ЕПР моделі РПН (рис. 2б), в якій віддзеркалення від щогли розраховувалося з врахуванням використання на її поверхні РПМ з параметрами діелектричної і магнітної проникності  $\epsilon' = 20 + j0,1$  і  $\mu' = 1,35 + j0,8$  і товщиною  $0,0013 \text{ м}$ . Даний РПМ забезпечує зниження ЕПР ідеально провідного аркуша на 15 дБ при нормальному падінні зондуючого сигналу [7].

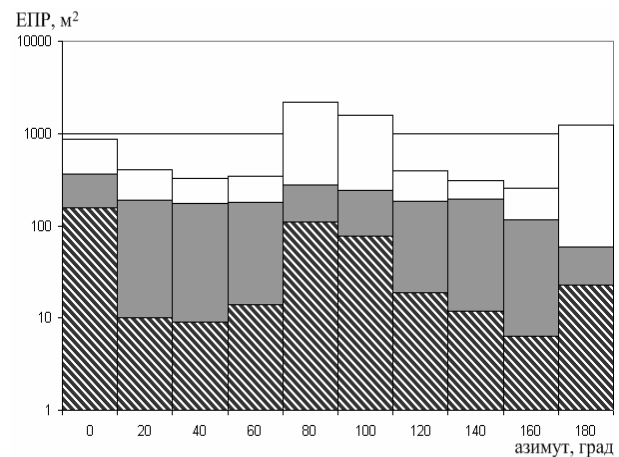
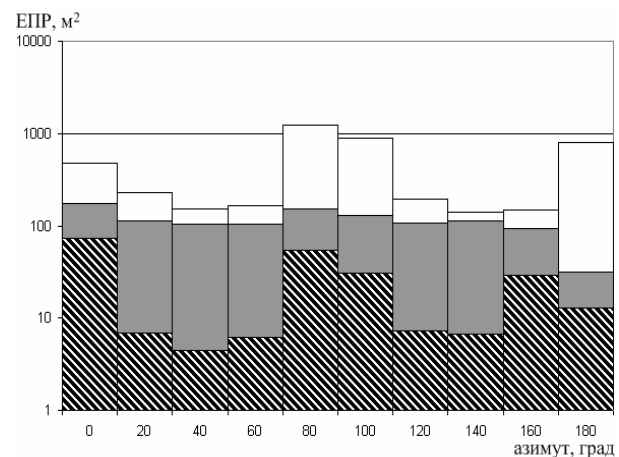
На рис. 6-8 приведені гістограми усередненої в 20-градусних азимутальних секторах НЕПР моделі РПН 30Н6. Стовпці білого кольору відповідають ЕПР моделі, зображеної на рис. 2а, стовпці сірого кольору відповідають НЕПР моделі, зображеної на рис. 2б, заштриховані стовпці відповідають НЕПР

моделі, зображеної на рис. 2б, з щоглою СТЗ, покритою РПМ ВРП-3.

Аналіз графіків показує, що покриття РПМ щогли СТЗ сприяє ще більшому зниженню ЕПР моделі РПН 30Н6. Так, при куті місця зондування  $\gamma = 1^\circ$  сталося зниження усередненої ЕПР з  $197,89 \text{ м}^2$  до  $43,61 \text{ м}^2$ , при  $\gamma = 10^\circ$  – з  $112,29 \text{ м}^2$  до  $23,19 \text{ м}^2$ , при  $\gamma = 30^\circ$  – з  $66 \text{ м}^2$  до  $25,45 \text{ м}^2$ . Таким чином, спільне використання РПМ і відбиваючих панелей привело до додаткового зниження ЕПР моделі РПН 30Н6 на 19,4% для  $\gamma = 1^\circ$ , на 20,14% для  $\gamma = 10^\circ$  і на 20,66% для  $\gamma = 30^\circ$ .

## Висновки

1. Розроблена модель поверхні РПН 30Н6 з відбиваючими панелями і частковим покриттям РПМ.
2. Проведені розрахунки ЕПР моделі поверхні РПН 30Н6 для всього азимутального діапазону і кутів місця зондування  $\gamma = 1^\circ$ ,  $\gamma = 10^\circ$ ,  $\gamma = 30^\circ$ .

Рис. 6. Усереднена НЕПР моделі РПН 30Н6,  $\gamma = 1^\circ$ Рис. 7. Усереднена НЕПР моделі РПН 30Н6,  $\gamma = 10^\circ$ .

3. Результати розрахунків показали, що при куті місця зондування  $\gamma = 1^\circ$ , середнє значення ЕПР моделі РПН, оснащеної відбиваючими панелями і частково вкритою РПМ, у порівнянні з моделлю РПН без засобів зниження РЛП, знизилось, в цілому, на

94,5% або у 18,2 рази, при  $\gamma = 10^\circ$  – на 94,76% або у 19 разів, при  $\gamma = 30^\circ$  – 87% або у 7,7 рази.

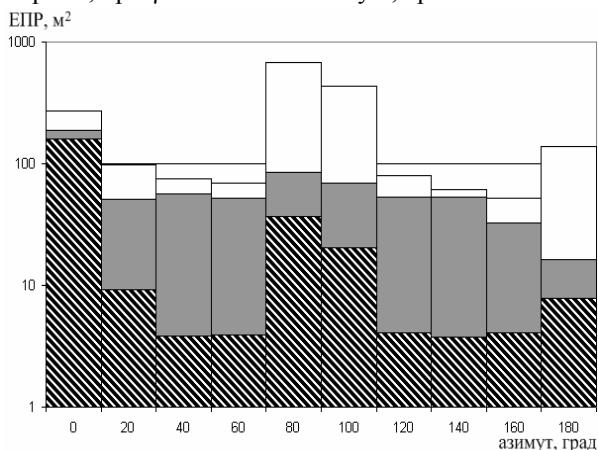


Рис. 8. Усреднена НЕПР моделі РПН 30Н6,  $\gamma = 30^\circ$ .

4. Аналіз отриманих результатів дозволяє стверджувати, що комплексне застосування засобів зниження РЛП (відбиваючих панелей і РПП) призводить до істотного зниження середньої ЕПР у всьому азимутальному діапазоні для всіх досліджуваних кутів місця зондування наземної військової техніки.

### Список літератури

1. Львова Л.А. Радиолокационная заметность летательных аппаратов / Л.А. Львова. – Снежинск: РФЯЦ – ВНИИТФ, 2003. – 232 с.
2. Фундаментальные и прикладные проблемы стелс-технологий / А.Н. Лагарьков, М.А. Погосян // Вестник Росс. Акад. Наук. – 2003. – № 9, т. 73. – С. 848.
3. Эффективная поверхность рассеяния объектов с неидеально отражающей поверхностью, имеющей изломы / О.И. Сухаревский, В.А. Василец, С.А. Горельшев,

С.В. Нечитайло и др. // Зарубежная радиоэлектроника. – 2001. – № 6. – С. 41-48.

4. Расчет рассеяния электромагнитной волны на идеально проводящем объекте, частично покрытом радиопоглощающим материалом с помощью триангуляционных кубатурных формул / О.И. Сухаревский, В.А. Василец, А.З. Сазонов и др. // Радиофизика и радиоастрономия. – 2000. – Т. 5, № 1. – С. 47-54.

5. Белевицук Я.О. Розрахунок ефективної поверхні розсіяння бойової машини зенітного гарматно-ракетного комплексу «Тунгуска» з використанням радіопоглинаючих матеріалів та інженерних устаткувань позицій / Я.О. Белевицук // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НУ, 2009. – Вип. 1 (9). – С. 32-35.

6. Василец В.А. Снижение средней эффективной поверхности рассеяния объекта сложной формы при оптимальном распределении ограниченного количества радиопоглощающего материала на его поверхности / В.А. Василец // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2002. – Вып. 129. – С. 69-72.

7. Рассеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами: монография / О.И. Сухаревский, В.А. Василец, С.В. Кукобко и др.; под ред. О.И. Сухаревского. – Х.: ХУ ПС, 2009. – 468с., ил.

8. Метод расчета ЭПР наземного объекта с неидеально отражающей поверхностью / О.И. Сухаревский, В.А. Василец, А.З. Сазонов и др. // Межведомственный тематический научный сборник "Рассеяние электромагнитных волн". – Таганрог: ТГРУ, 2003. – Вып. 12. – С. 9-15.

9. 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.

Надійшла до редколегії 6.04.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, ст. наук. співр. В.О. Василець, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ПРИМЕНЕНИЕ ИДЕАЛЬНО ОТРАЖАЮЩИХ ПАНЕЛЕЙ И РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ЗАМЕТНОСТИ НАЗЕМНОЙ ТЕХНИКИ

Я.А. Белевицук

Разработана модель поверхности радиолокатора подсвета и наведения 30N6 зенитного ракетного комплекса С300ПС, оснащенная идеально отражающими панелями и частично покрытая радиопоглощающим материалом. Проведено сравнение результатов расчетов эффективной поверхности рассеяния указанной модели радиолокатора с результатами расчетов эффективной поверхности рассеяния модели радиолокатора без средств снижения радиолокационной заметности. Оценено влияние комплексного применения средств снижения радиолокационной заметности на эффективную поверхность рассеяния типичного образца наземной военной техники.

**Ключевые слова:** эффективная поверхность рассеяния, преломляющие панели, радиопоглощающие материалы.

## APPLICATION OF IDEALLY REFLECTING PANELS AND RADIO ABSORBING COVERINGS FOR DECREASE RADAR-TRACKING VISIBILITY THE LAND TECHNICIS

Y.O. Belevschuk

The model of a surface of a illumination radar and promptings 30N6 the antiaircraft rocket complex S300PS, equipped with ideally reflecting panels and partially covered with a radio absorbing material is developed. Comparison of results of calculations of an effective surface of dispersion of the specified model of a radar with results of calculations of an effective surface of dispersion of model of an out-of-pocket radar of decrease radar-tracking visibility is spent. Influence of complex application of means of decrease radar-tracking visibility on an effective surface of dispersion of the typical sample of land military technics is estimated.

**Keywords:** an effective surface is dispersions, refractive panels, radio absorbing materials.