

Р.Г. Сидоренко, В.І. Грідін, А.І. Резніченко, О.В. Філіппенков

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

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗНИЖЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ПОМІТНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ РОЗСІЮЧИХ ТА ПОГЛИНАЮЧИХ ПОКРИТТІВ

Проведено оцінку можливостей розвідки об'єктів сучасними засобами виявлення з радіолокаційними станціями бокового огляду які встановлені на засоби космічної та повітряної розвідки. Наведенні необхідні для розрахунків вихідні дані по об'єктам та умовам ведення розвідки. Отримано аналітичні вирази для розрахунку співвідношення сигнал/шум, що сприймається оком оператора на радіолокаційному зображенні та ефективності зниження радіолокаційної помітності об'єктів при їх захисті за допомогою розсіючих та поглинаючих покриттів. Розроблено математичний апарат для оцінки ефективності зниження радіолокаційної помітності об'єктів за рахунок використання розсіючих та поглинаючих покриттів.

**Ключові слова:** зниження помітності об'єктів, розсіючі та поглинаючі покриття, засоби розвідки.

### Вступ

В бойових діях сучасних воєнних конфліктів спостерігається широке застосування високоточної зброї, як складової розвідувально-ударних комплексів (РУК), на основі сучасних засобів виявлення, що значно загострило проблему підвищення ефективності заходів щодо зниження помітності об'єктів. Сучасні РУК дозволяють здійснювати ураження об'єктів на значному видаленні від лінії зіткнення конфліктуючих сторін. Це досягається використанням систем наведення (самонаведення) з датчиками різноманітної фізичної природи, що мають високу роздільну здатність, високу скритність через пасивне наведення на ціль, незалежність функціонування від характеру оперативного-тактичної обстановки та погодних-кліматичних умов.

Виходячи з цього одним з найбільш значимих чинників підвищення ефективності заходів щодо зниження помітності військ та об'єктів, є засоби зниження помітності на основі розсіючих та поглинаючих покриттів (РПП), застосування яких призводить до істотного зниження дальності та імовірності виявлення і ідентифікації об'єктів.

**Постановка проблеми.** Завдання підвищення ефективності заходів щодо зниження помітності об'єктів має чітко виражений системний, комплексний характер, як в технічному, так і в організаційному відношенні і є одним з пріоритетних напрямків розвитку озброєння та військової техніки (ОВТ).

Одним з можливих заходів зниження помітності об'єктів є розробка та застосування сучасних РПП. Крім того необхідно знати відбивні та випромінюючі властивості зазначених покриттів, що дозволить знизити радіолокаційну та радіотеплову помітність ОВТ від сучасних та перспективних засобів виявлення та ураження.

Тому завдання оцінювання ефективності зниження радіолокаційної помітності об'єктів за рахунок використання розсіючих та поглинаючих покриттів є актуальним для розвитку озброєння та військової техніки.

**Аналіз останніх досягнень та публікацій.** Питанням зниження помітності об'єктів за рахунок використання розсіючих та поглинаючих покриттів та оцінювання ефективності їх застосування в останній час приділяється багато уваги.

В роботах [1–8] розглянуті основні напрямки створення розсіючих та поглинаючих покриттів, а також методи зниження ефективності застосування засобів виявлення та ураження за рахунок використання зазначених покриттів.

**Мета статті.** Розробка математичного апарату для оцінки ефективності зниження радіолокаційної помітності об'єктів за рахунок використання розсіючих та поглинаючих покриттів.

### Основний матеріал

Проведемо оцінку можливостей розвідки об'єктів сучасними засобами виявлення та ураження РУК з радіолокаційними станціями (РЛС) бокового огляду (БО) які встановлені на засоби космічної (космічні апарати) та повітряної (тактичні й стратегічні літаки-розвідники, безпілотні літальні апарати) розвідки.

Для оцінки можливостей радіолокаційної (РЛК) розвідки об'єктів будемо використовувати такий показник, як імовірність виявлення об'єкта –  $P_v$ . Для визначення наведеного показника необхідні такі вихідні дані:

- 1) за апаратурою розвідки:
  - роздільна здатність  $\Delta l_m, \text{ м}$ ;
  - гранична чутливість  $\sigma_{гр}, \text{ м}^2$ ;

- 2) за об'єктом розвідки:
- ефективна поверхня розсіювання (ЕПР) об'єкта  $\sigma_{\text{ц}}, \text{м}^2$ ;
  - площа об'єкта  $S_0, \text{м}^2$ ;
  - довжина об'єкта  $l_{\text{д}}, \text{м}$ ;
  - ширина об'єкта  $l_{\text{ш}}, \text{м}$ ;

- 3) за умовами ведення розвідки:
- питома ЕПР підстилаючої поверхні  $\sigma_{\text{ф}}^0$ .

Необхідні для розрахунків вихідні дані по об'єктам та умовам ведення розвідки наведенні в табл. 1 та 2. Імовірність виявлення об'єкта  $P_{\text{в}}$  визначається згідно графіку [9] який зображений на рис. 1.

Таблиця 1

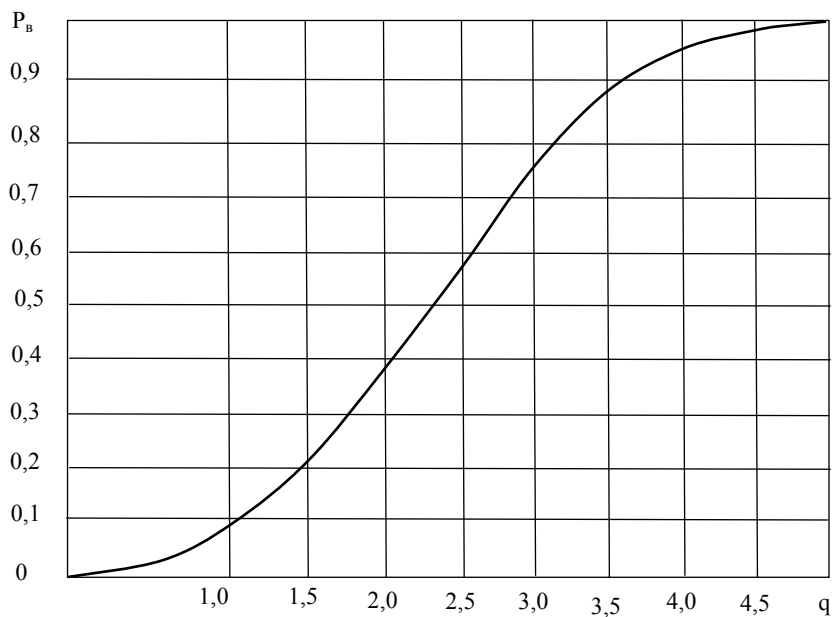
ЕПР типових об'єктів ( $\sigma_{\text{ц}}$ )

Найменування об'єкта		ЕПР об'єкта, $\text{м}^2$
Автомобілі:	легковий	7
	вантажний	20
Тягач		10
Бульдозер		15
Паливозаправник		20
Літаки:	малий	10
	середній	50
	великий	100
Опора високовольтної лінії		300

Таблиця 2

Питома ЕПР підстилаючих поверхонь ( $\sigma_{\text{ф}}^0$ )

Тип підстилаючої поверхні	Питома ЕПР
Асфальт, бетон, шлак, гравій, спокійна водна та засніжена поверхні	0
Піщаний ґрунт	0,003
Луг, трав'яний покрив, ґрунт та сільськогосподарські угіддя (літом)	0,01
Чагарник	0,03
Лісний масив	0,05

Рис. 1. Залежність імовірності виявлення об'єкта  $P_{\text{в}}$  від співвідношення сигнал/шум  $q$

Співвідношення сигнал/шум, що сприймається оком оператора (дешифрувальника) на РЛК зображенні об'єкта без застосування РПП, розраховується по формулі:

$$q_1 = \frac{|\sigma_{цл} - \sigma_{\phi}^0 \Delta S_0|}{\sigma_{гр} + \sigma_1} \sqrt{N_i}, \quad (1)$$

де  $\Delta S_0$  – площа елемента розрізнення РЛС БО, м<sup>2</sup>, що визначається за формулою:

$$\Delta S_0 = \frac{\pi}{4} \Delta l_m^2, \quad (2)$$

$\sigma_1$  – питома ЕПР об'єкта і фону, що визначається за формулою:

$$\sigma_1 = \begin{cases} \sigma_{\phi}^0 \Delta S_0, \text{ при } \sigma_{цл} \geq \sigma_{\phi}^0 \Delta S_0; \\ \sigma_{цл}, \text{ при } \sigma_{цл} < \sigma_{\phi}^0 \Delta S_0, \end{cases} \quad (3)$$

$\sigma_{цл}$  – ЕПР в елементі розрізнення, що обумовлена відбиттям електромагнітних хвиль (ЕМХ) від об'єкту без застосування РПП, м<sup>2</sup>, яка визначається за формулою:

$$\sigma_{цл} = \begin{cases} \sigma_{цл} + \sigma_{\phi}^0 (\Delta S_0 - S_0) \text{ при } l_d, l_{ш} < \Delta l_m; \\ \frac{\sigma_{цл}}{l_d} \Delta l_m + \sigma_{\phi}^0 (\Delta S_0 - l_{ш} \Delta l_m) \\ \text{при } l_d \geq \Delta l_m, l_{ш} < \Delta l_m; \\ \frac{\sigma_{цл}}{S_0} \Delta S_0 \text{ при } l_d, l_{ш} \geq \Delta l_m, \end{cases} \quad (4)$$

$N_i$  – коефіцієнт, що враховує здатність ока оператора (дешифрувальника) здійснювати просторове інтегрування по РЛК зображенню об'єкта, який визначається за формулою:

$$N_i = \begin{cases} 1 & \text{при } l_d, l_{ш} < \Delta l_m; \\ \frac{l_d}{\Delta l_m} & \text{при } \Delta l_m \leq l_d < 13\Delta l_m, \\ & l_{ш} < \Delta l_m; \\ 13 & \text{при } l_d \geq 13\Delta l_m, l_{ш} < \Delta l_m; \\ \frac{S_0}{\Delta S_0} & \text{при } l_d < 13\Delta l_m, \\ & \Delta l_m \leq l_{ш} < 13\Delta l_m; \\ \frac{13l_{ш}}{\Delta S_0} & \text{при } l_d \geq 13\Delta l_m, \\ & \Delta l_m \leq l_{ш} < 13\Delta l_m; \\ 170 & \text{при } l_d, l_{ш} \geq 13\Delta l_m. \end{cases} \quad (5)$$

Можливо брати узагальнене значення граничної чутливості  $\sigma_{гр} = 0,2$  для літакових та космічних РЛС БО.

Використовуючи при розрахунках такий підхід, оцінюються можливості типових засобів розвідки.

При оцінках можливостей конкретних засобів розвідки з відомими характеристиками та умовами ведення розвідки значення  $\sigma_{гр}$  розраховується за такою формулою:

$$\sigma_{гр} = \frac{1,83 \cdot 10^{-15} h_n^3 \text{tg}^3 \psi_m r_{ш} \Delta f V d_a}{r_{сж} W_i G_a^2 h_x^3 F_{сл}} 10^{-0,2\gamma D_a}, \quad (6)$$

де  $h_n$  – висота польоту носія РЛС БО, м;

$\psi_m$  – кут візування, град;

$r_{ш}$  – коефіцієнт шуму приймача РЛС БО;

$\Delta f$  – ширина смуги пропускання приймача РЛС БО, Гц;

$V$  – швидкість польоту носія РЛС БО, м/с;

$d_a$  – лінійний розмір антени РЛС БО, що визначає її діаграму спрямованості а азимутальній площині, м;

$D_a$  – протяжність ділянки розповсюдження радіохвиль в поглинаючому слою атмосфери, км;

$\gamma$  – коефіцієнт згасання радіохвиль в атмосфері, дБ/км,

$r_{сж}$  – коефіцієнт стискування імпульсів РЛС БО;

$W_i$  – потужність випромінювання РЛС БО в імпульсі;

$G_a$  – коефіцієнт підсилення антени РЛС БО;

$h_x$  – робоча довжина хвилі РЛС БО, м;

$F_{сл}$  – частота слідування імпульсів РЛС БО, Гц.

Величина  $D_a$  розраховується по формулі:

$$D_a = \sqrt{\frac{(R + h_a)^2 - R^2 \sin^2(\psi_m + \phi_m)}{-R \cos(\psi_m + \phi_m)}}, \quad (7)$$

де  $h_a = \begin{cases} h_n, \text{ якщо } h_n < 4 \text{ км}; \\ 4 \text{ км}, \text{ якщо } h_n \geq 4 \text{ км}, \end{cases}$

$$\phi_m = \arcsin\left(\frac{R + h_n \sin \psi_m}{R}\right) - \psi_m, \quad (8)$$

$R$  – радіус Землі,  $R = 6371$  км.

Співвідношення сигнал/шум, що сприймається оком оператора (дешифрувальника) на РЛК зображенні об'єкта при використанні РПП, розраховується по формулі:

$$q_2 = \frac{|\sigma_{цл2} - \sigma_{\phi}^0 \Delta S_0|}{\sigma_{гр} + \sigma_1} \sqrt{N_i}, \quad (9)$$

де  $\sigma_{цл2}$  – ефективна поверхня розсіювання в елементі розрізнення, що обумовлена відбиттям ЕМХ

від об'єкту з використанням РПП, м<sup>2</sup>, яка визначається за формулою:

$$\sigma_{ц2} = \begin{cases} \sigma_{цп} + \sigma_{ф}^0 (\Delta S_0 - S_0) & \text{при } l_{д}, l_{ш} < \Delta l_{м}; \\ \frac{\sigma_{цп}}{l_{д}} \Delta l_{м} + \sigma_{ф}^0 (\Delta S_0 - l_{ш} \Delta l_{м}) & \text{при } l_{д} \geq \Delta l_{м}, l_{ш} < \Delta l_{м}; \\ \frac{\sigma_{цп}}{S_0} \Delta S_0 & \text{при } l_{д}, l_{ш} \geq \Delta l_{м}, \end{cases} \quad (10)$$

де  $\sigma_{цп}$  – ЕПР об'єкта з використанням РПП, м<sup>2</sup>.

Вимір ефективної поверхні розсіювання об'єкта з використанням РПП  $\sigma_{цп}$  проводиться на полігонах і в радіочастотних безехових камерах з використанням реальних об'єктів і їх масштабних моделей або розраховується за допомогою математичного моделювання розсіювання плоскої електромагнітної хвилі на об'єктах складної форми.

Тоді поверхня моделі, як і в роботі [10], апроксимується за допомогою трьохвісних еліпсоїдів та кромки (ділянок прямих ліній і плоских кривих другого порядку).

Як показано в роботах [11–12] використання одношарового РПП дозволяє практично у всьому діапазоні зміни азимутних кутів на частоті 10 ГГц на порядок понизити ефективну поверхню розсіювання об'єкта складної форми.

Використання РПП на гладкій поверхні призводить до зниження ЕПР до двох порядків. На частоті 37,5 ГГц застосування РПП призводить до зниження ефективної поверхні розсіювання не менше чим на порядок при куті місця 90°, проте, при зменшенні кута місця до 70° при певних ракурсах (30°, 90°, 150°) для зниження ефективної поверхні розсіювання необхідно використовувати багатошарове покриття.

Використання двошарового покриття забезпечує більше в порівнянні з одношаровою структурою покриття зниження ефективної поверхні розсіювання, при цьому в діапазоні робочих частот РЛС БО РУК спостерігається зниження ЕПР на два і більше порядки.

Згідно графіка зображеного на рис. 1 визначаються значення імовірності виявлення об'єктів без РПП  $P_{в1}$  та з використанням розсіюючих та поглинаючих покриттів  $P_{в2}$ .

Ефективність зниження радіолокаційної помітності об'єктів за рахунок використання РПП оцінюється за формулою:

$$E_{рлк} = (P_{в1} - P_{в2}) \cdot 100\% . \quad (11)$$

## Висновки

Таким чином оцінювання ефективності зниження радіолокаційної помітності об'єктів за рахунок використання РПП проводиться в наступній послідовності:

– визначаються вихідні дані по апаратурі розвідки: роздільна здатність  $\Delta l_{м}$  та гранична чутливість  $\sigma_{гр}$ ;

– визначаються вихідні дані по об'єктах та умовам ведення розвідки:

ЕПР об'єкта  $\sigma_{ц}$ ;

питома ЕПР підстилаючої поверхні  $\sigma_{ф}^0$ ;

площа об'єкта  $S_0$ ;

довжина об'єкта  $l_{д}$ ;

ширина об'єкта  $l_{ш}$ ;

ЕПР об'єкта з використанням РПП  $\sigma_{цп}$ ;

– визначаються також:

площа елемента розрізнення РЛС БО  $\Delta S_0$ ;

питома ЕПР об'єкта і фону  $\sigma_1$ ;

коефіцієнт, що враховує здатність ока оператора (дешифрувальника) здійснювати просторове інтегрування по РЛК зображенню об'єкта  $N_i$ ;

ЕПР в елементі розрізнення, що обумовлена відбиттям ЕМХ від об'єкту без застосування РПП  $\sigma_{ц1}$ ;

ефективна поверхня розсіювання в елементі розрізнення, що обумовлена відбиттям ЕМХ від об'єкту з використанням РПП  $\sigma_{ц2}$  за формулами (2-5, 10);

– визначаються співвідношення сигнал/шум, що сприймається оком оператора (дешифрувальника) на РЛК зображенні об'єкта без застосування РПП та з покриттям  $q_1$  та  $q_2$  за формулами (1; 9);

– визначаються значення імовірності виявлення об'єктів без РПП  $P_{в1}$  та з використанням розсіюючих та поглинаючих покриттів  $P_{в2}$  згідно графіка зображеного на рис. 1;

– визначається ефективність зниження радіолокаційної помітності об'єктів за рахунок використання захисних покриттів  $E_{рлк}$  за формулою (11).

## Список літератури

1. Рахманов А. Снижение заметности – одно из направлений модернизации военной техники / А. Рахманов // Военный парад. – 2001. – № 3. – С. 14-15.
2. Львова Л.А. Радиолокационная заметность летательных аппаратов: Монография / Л.А. Львова. – Снежинск: Изд-во РФЯЦ-ВНИИТФ, 2003. – 232 с.

3. Під українським маскувальним покриттям – танка не видно / М.В. Ткаліч, М.Д. Топчев, В.О. Комаров, В.В. Глебов, В.П. Ващенко // *Винахідник і раціоналізатор*. – 2002.–№ 2(3). – С. 5-6.
4. Быстров Р.П. Методы и техника противодействия радиолокационному распознаванию объектов. – [Электронный ресурс] / Р.П. Быстров, А.Б. Борзов, А.В. Соколов. – Режим доступа: <http://www.cplire.ru/joined/win/lection1/sokolov@mail.cplire.ru>.
5. Оружие XXI века. Комплекс средств снижения заметности (КССЗ) [Электронный ресурс] / Официальный сайт военной кафедры МЭСИ. – Режим доступа: <http://www.mesi.ru/>.
6. Умение быть невидимым. Конструкция "Контраст КМС" – квинтэссенция маскировочного искусства // *Defense Express*. – 2004. – № 12 (37).
7. Физические основы диапазонных технологий типа "Стелс" / С.А. Масалов, А.В. Рыжак, О.И. Сухаревский, В.М. Шкиль. – С.-П.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского, 1999. – 250 с.
8. Сотников А.М. Снижение радиолокационной заметности объектов на основе использования радиоизотопного покрытия / А.М. Сотников, Р.Г. Сидоренко // *Проблемы информатики и моделирования. Материалы четвертой международной научно-технической конференции Национального технического университета "ХПИ" 25-27 ноября 2004 г.* – Харьков, 2004. – С. 65.
9. Беркович Р. Современная радиолокация. Анализ, расчет и проектирование систем / пер. с англ.; под ред. Ю.Б. Кобзарева. – М: Книга по требованию, 1968. – 700 с.
10. Сухаревский О.И. 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, 2003. – Вып.12. – С. 9-15.
11. Оценка отражающих свойств наземных и воздушных объектов с пассивной защитой на основе композитных радиоизотопных покрытий / А.М. Сотников, Р.Г. Сидоренко, Г.В. Рыбалка // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. – Х.: ХУПС, 2009. – № 3 (21). – С. 70-74.
12. Сидоренко Р.Г. Пасивні засоби радіоелектронного захисту об'єктів від впливу сучасних та перспективних засобів ураження / Р.Г. Сидоренко, Г.В. Акулінін, О.О. Скопінцев // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. – 2017. – № 1(26). – С. 156-159. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.26.31>.

## References

1. Rahmanov, A. (2001) "Snizhenie zametnosti - odno iz napravleniy modernizatsii voennoy tehnik" [*Reducing visibility - one of the areas of modernization of military equipment*], *Voennyiy parad*, No 3, pp. 14-15.
2. Lvova, L.A.(2003) "*Radiolokatsionnaya zametnost letatelnykh apparatov: monografiya*" [*Radar visibility of aircraft*], RFNC – VNIITF, Snezhinsk, p. 232.
3. Tkalic, M.V., Topchev, M.D., Komarov, V.O., Glebov, V.V. and Vaschenko, V.P. (2002) "Pid ukrayinskim maskovalnim pokryttiam - tanka ne vidno"[Under the Ukrainian masking cover - the tank is not visible], *Vinahidnik i ratsionalizator*, No 2(3), pp. 5-6.
4. Byistrov, R.P., Borzov, A.B. and Sokolov, A.V. "Metody i tehnika protivodeystviya radiolokatsionnomu raspoznavaniyu ob'ektov" [*Methods and techniques of counteraction to radar recognition of objects*], [www.cplire.ru/joined/win/lection1/sokolov@mail.cplire.ru](http://www.cplire.ru/joined/win/lection1/sokolov@mail.cplire.ru).
5. "Oruzhie XXI veka. Kompleks sredstv snizheniya zametnosti (KSSZ)" [*Weapons of the XXI century. Complex of visibility reduction means (CVRM)*], *Official site of the military department MESI*, [www.mesi.ru/](http://www.mesi.ru/).
6. "Umenie byit nevidimym. Konstruktsiya "Kontrast KMS" – kvintessentsiya maskirovochnogo iskusstva" [*The ability to be invisible. The design "Contrast KMS" is a quintessence of masking art*], *Defense Express*, (2004), No 12(37).
7. Masalov, S.A., Ryizhak, A.V., Suharevskiy, O.I. and Shkil, V.M. (1999) "*Fizicheskie osnovy diapazonnykh tehnologiy tipa "Stels"*" [*Physical bases of range technologies such as "Stealth"*], VKA Mozhayskogo, St. Petersburg p. 250.
8. Sotnikov, A.M. and Sidorenko, R.G. (2004) "Snizhenie radiolokatsionnoy zametnosti ob'ektov na osnove ispolzovaniya radioizotopnogo pokryitiya"[Reduced radar detectability of objects based on the use of radioisotope coatings] *4-th International Scientific Conference of National Technical University "HPI": Problems of computer science and modeling*, November 25–27, 2004, Kharkiv, p. 65.
9. Berkovich, R. and Kobzareva, Yu.B., (1968) "*Sovremennaya radiolokatsiya. Analiz, raschet i proektirovanie sistem*" [*Modern radiolocation. Analysis, calculation and design of systems*], Moscow, 700 p.
10. Suharevskiy, O.I., Vasilets, V.A., Sazonov, A.Z. and Tkachuk, K.I. (2003), "Metod rascheta EPR nazemnogo ob'ekta s neidealno otrazhayuschey poverhnostyu" [*Method for calculating the ESD of a terrestrial object with an imperfectly reflecting surface*], *Interagency thematic scientific collection "Scattering of electromagnetic waves"*, Taganrog, No 12, pp. 9-15.
11. Sotnikov, A.M., Sidorenko, R.G. and Ryibalka, G.V. (2009) "Otsenka otrazhayuschih svoystv nazemnih i vozdushnih ob'ektov s passivnoy zaschitoy na osnove kompozitnykh radioizotopnykh pokryitiy" [*Assessment of the reflecting properties of ground and airborne objects with passive protection based on composite radioisotope coatings*], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 3(21), pp. 70-74.
12. Sydorenko, R.G., Akulinin, G.V. and Skopintsev, O.A. (2017) "Pasivni zasobi radioelektronного zahistu ob'ektiv vid vplivu suchasnykh ta perspektivnykh zasobiv urazhennya" [*Passive facilities of radio electronic defense of objects from influence modern and perspective decimators*], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 1(26), pp. 156-159. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.26.31>.

Надійшла до редколегії 15.02.2018

Схвалена до друку 20.03.2018

**Відомості про автора(ів):****Сидоренко Руслан Григорович**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
старший науковий співробітник Харківського  
національного університету Повітряних Сил  
ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-3097-6747>  
e-mail: rused78@ukr.net

**Грідін Володимир Іванович**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
провідний науковий співробітник Харківського  
національного університету Повітряних Сил  
ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-3014-9685>  
e-mail: greeguard@ukr.net

**Резніченко Анатолій Іванович**

науковий співробітник  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-0445-5972>  
e-mail: an.reznichenko@gmail.com

**Філіппенков Олексій Володимирович**

Заступник начальника факультету  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-4027-6963>  
e-mail: alekvlad48@gmail.com

**Information about the author(s):****Ruslan Sydorenko**

Candidate of Sciences, Senior Research,  
Senior Research Associate of Ivan Kozhedub  
Kharkiv National Air  
Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-3097-6747>  
e-mail: rused78@ukr.net

**Volodymyr Hridin**

Candidate of Sciences, Senior Research,  
Leading Research Associate of Ivan Kozhedub  
Kharkiv National Air  
Force University  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-3014-9685>  
e-mail: greeguard@ukr.net

**Anatoli Reznichenko**

Research Associate  
of Ivan Kozhedub Kharkiv National  
Air Force University  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-0445-5972>  
e-mail: an.reznichenko@gmail.com

**Oleksiy Filippenkov**

Depchief of faculty  
of Ivan Kozhedub Kharkiv National  
Air Force University  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-4027-6963>  
e-mail: alekvlad48@gmail.com

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СНИЖЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ЗАМЕТНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАССЕИВАЮЩИХ И ПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

Р.Г. Сидоренко, В.И. Грідин, А.И. Резніченко, А.В. Філіппенков

*Проведена оцінка можливостей розвідки об'єктів радіолокаційними станціями бокового обзора, які встановлені на засобах космічної та повітряної розвідки. Отримані аналітичні вирази для розрахунку відношення сигнал/шум, який сприймається глазом оператора на радіолокаційному зображенні, та ефективності зниження радіолокаційної заметності об'єктів при їх захисті за допомогою розсіюючих і поглинаючих покриттів. Розроблено математичний апарат для оцінки ефективності зниження радіолокаційної заметності об'єктів за рахунок використання розсіюючих і поглинаючих покриттів.*

**Ключевые слова:** *снижение заметности объектов, рассеивающие и поглощающие покрытия, средства разведки.*

## EVALUATION OF EFFICIENCY OF REDUCTION OF RADAR VISIBLE OBJECTS BY USING SCATTERING AND ABSORBING COATINGS

R. Sydorenko, V. Hridin, A. Reznichenko, O. Filippenkov

*The article assesses the capabilities of weapons and military equipment reconnaissance with modern means of detection with side-scan radar stations, which are used on space and aerial reconnaissance vehicles. The initial data necessary for calculations on the objects of weapons and military equipment, depending on the conditions of conducting reconnaissance, are given. To reduce the visibility of objects, modern scattering and absorbing coatings are considered. They make it possible to reduce the radar and radio-thermal visibility of weapons and military equipment when the enemy uses modern and promising means of detection and weapons. Analytical expressions are obtained for calculating the signal-to-noise ratio, which is perceived by the operator's eye on the radar image. Expressions were obtained for calculating the effectiveness of reducing the radar visibility of objects when they are protected by scattering and absorbing coatings. A mathematical apparatus for evaluating the effectiveness of reducing the radar visibility of objects by using scattering and absorbing coatings is developed. The above calculations allow us to conclude that a single-layer scattering and absorbing coating reduces the equivalent scattering area of an object of complex shape by an order of magnitude over the entire range and angles of irradiation. A two-layer coating reduces the equivalent scattering area of such an object by two orders of magnitude in the range of the radar stations of the lateral survey of the reconnaissance/strike system.*

**Keywords:** *scattering and absorbing coatings, radar and radio-thermal visibility, the radar stations of the lateral survey.*