

УДК 621.396.96

Кравченко Ю. В., д.т.н.; Дубас Т. І., аспірант

(Державний університет телекомунікацій, м. Київ. +380 (95) 068 86 25. yl143@rambler.ru, 23torsion@ukr.net)

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ СПОСОБІВ ЗНИЖЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ПОМІТНОСТІ ТА МОЖЛИВОСТІ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДО НАЗЕМНИХ ТА ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ

Кравченко Ю. В., Дубас Т. І. Аналіз основних способів зниження радіолокаційної помітності та можливості їх застосування до наземних та повітряних об'єктів. В роботі розглянуто основні способи зниження радіолокаційної помітності об'єктів. Визначені їх переваги та недоліки. Розглянуті можливості їх застосування до наземних та повітряних об'єктів. Показано, що максимальний ефект застосування даних методів буде отриманий при їх використанні в комплексі. Використання отриманих результатів дозволить знизити ймовірність виявлення наземних та повітряних об'єктів, а тим самим підвищити ефективність їх застосування.

Ключові слова: радіолокаційна помітність, ефективна площа розсіювання, радіолокаційна станція, радіопоглинаючі покриття

Кравченко Ю. В., Дубас Т. І. Анализ основных способов снижения радиолокационной заметности и возможности их приложения к наземным и воздушным объектам. В работе рассмотрены основные способы снижения радиолокационной заметности объектов. Определены их преимущества и недостатки. Рассмотренные возможности их применения к наземным и воздушным объектам. Показано, что максимальный эффект применения данных методов будет получен при их использовании в комплексе. Использование полученных результатов позволит снизить вероятность выявления наземных и воздушных объектов, а тем же повысить эффективность их применения.

Ключевые слова: радиолокационная заметность, эффективная площадь рассеивания, радиолокационная станция, радиопоглощающие покрытия

Kravchenko Yu. V., Dubas T. I. An analysis of basic methods of decline of radiolocation noticeableness and possibility of their appendix is to the surface and air objects. The basic methods of decline of radiolocation noticeableness of objects are in-process considered. Their advantages and defects are certain. The considered possibilities of their appendix are to the surface and air objects. It is shown that the maximal effect of application of these methods will be got at their use in a complex. Drawing on the got results will allow to bring down probability of exposure of surface and air objects, and to promote efficiency of their application the same.

Keywords: radiolocation noticeableness, effective area of dispersion, radiolocation station, electromagnetic wave absorbing coating

Вступ. Постановка задачі. На даний час велика увага приділяється розробці наземних та повітряних об'єктів з зниженою радіолокаційною помітністю. Помітність об'єктів для засобів радіолокаційної розвідки прийнято оцінювати величиною ефективної площі розсіювання (ЕПР) [1]. Технологія зниження ЕПР полягає у зниженні її величини з одиниць до сотих квадратного метра. Суть полягає у використанні способів, що забезпечують під час взаємодії з електромагнітною хвилею поглинання, розсіювання та інтерференцію її енергії або відбивання її у напрямку, не направленому на радіолокаційну станцію (РЛС) [2...5].

Метою статті є проведення аналізу існуючих способів зниження радіолокаційної помітності об'єктів та визначенні можливостей їх застосування до наземних та повітряних об'єктів.

Аналіз основних шляхів зниження радіолокаційної помітності. Зниження радіолокаційної помітності може здійснюватися наступними основними шляхами, що приведені в порядку збільшення їхньої ефективності та зменшення ціни їх реалізації [2, 3, 5...7]:

- пасивна компенсація (пасивне гасіння) [2, 8, 9], яка більш відома, як підключення комплексного навантаження до відбиваючого об'єкта [5];
- активна компенсація (активне гасіння) [2, 8, 9];
- використання протирадіолокаційних покриттів;
- використання маловідбиваючих форм або протирадіолокаційний шейпінг, що полягає в конструюванні форми об'єкта з метою досягнення мінімальної величини ЕПР.

Пасивна компенсація (пасивне гасіння) радіохвиль. Основна ідея методу полягає у тому, що для компенсації ЕПР якогось джерела луна-сигналу необхідно утворити інше джерело луна-сигналу, амплітуду та фазу якого можна підібрати таким чином, щоб компенсувати (загасити) ЕПР першого джерела [2].

Пасивне гасіння відноситься до методів зниження ЕПР які передбачають введення вторинного (допоміжного) розсіювача з метою компенсації відбиття від основної цілі. Ціль з розсіювальним елементом називається навантаженим тілом, і, навпаки, „гола” ціль називається ненавантаженим тілом. Ось чому, даний метод є відомим також під назвою імпедансного навантаження [2].

На Рис. 1 зображений об'єкт **D** з отвором зв'язку **S**, навантажений комплексним опором. Об'єкт опромінюється передавачем **A**, прийом перевипромінених радіохвиль здійснюється в точці **B**. Вторинне поле в точці прийому **B** може бути представлене як результат суперпозиції двох полів. Одне з них являє собою поле не навантаженого об'єкта, а друге - поле навантаженого отвору **S**. Слід зазначити, що через малу площу отвору **S** загальна конфігурація об'єкта може вважатися незмінною.

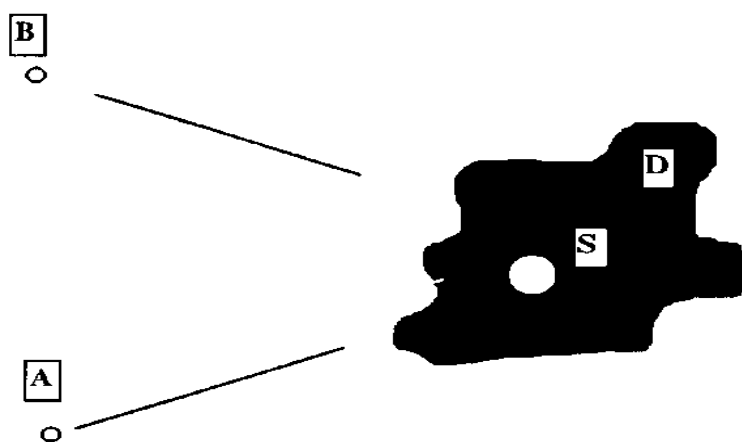


Рис. 1. Об'єкт **D** з отвором зв'язку **S**

Поле розсіювання отвору **S** визначається формою отвору і параметрами навантажувального імпедансу. Регулюванням цих параметрів можна змінювати розподіл амплітуди і фази перевипромінюваного щілиною поля і, як наслідок цього, досягати необхідного зниження результуючого поля в точці прийому.

Очевидно, що для реалізації методу пасивного гасіння радіохвиль необхідно мати великий обсяг інформації про загрози та про саму ціль, наприклад [2]:

- частота РЛС противника;
- поляризація РЛС противника;
- напрямок на РЛС противника;
- моностатична ефективна площа цілі об'єкта маскуванню у напрямку на загрозу (РЛС противника).

Активна компенсація (активне гасіння) радіохвиль. Активне гасіння являє собою удосконаленням методу пасивного гасіння з метою забезпечення зниження ефективної площі цілі у динамічній загрозовій обстановці. Активне гасіння – це, насамперед, технологія, яка забезпечує обробку та перевипромінювання сигналів загрозових РЛС. Обробка падаючих на ціль сигналів полягає в тому, що за допомогою комп'ютера параметри відповідних електричних кіл, які знаходяться всередині, наприклад, носія зброї, налагоджуються у такий спосіб, що перевипромінені сигнали компенсують первинні (таким чином, джерелом енергії “відбитих” сигналів є сигнали самих радіолокаційних станцій противника). Даний спосіб компенсації ЕПР є відомим також як “активне навантаження” [2, 9].

Як правило розрізняють всього два способи активного гасіння: повністю активне гасіння та напівактивне гасіння.

1) **Повністю активне гасіння:** електрична мережа гасіння (компенсації) приймає, підсилює, ретранслює зондувальний сигнал радіолокаційної станції противника таким чином, що сам сигнал постає протифазним до моностатичної ЕПР об'єкта. Амплітуда, фаза, частота та поляризація сигналу, який формується даною мережею, можуть бути налагоджені для забезпечення компенсації параметрів зондувального сигналу радіолокаційної станції противника. Дані параметри постійно змінюються за часом.

2) **Напівактивне гасіння:** електрична мережа гасіння (компенсації) не підсилює прийнятий зондувальний сигнал РЛС противника, але керований атенюатор та керований фазообертач, які входять до складу зазначеної мережі, дозволяють ретранслюваному сигналу компенсувати незначні зміни параметрів прийнятого сигналу.

Метод потребує наявності передавальних пристроїв та антенно-фідерних систем для перекриття очікуваних секторів загрози, частот РЛС, щільності потужності падаючих сигналів та їх поляризації. Знання напрямку на радіолокаційну станцію противника є не менш важливим ніж знання власної моностатичної ЕПР об'єкта прикриття. Напівактивні системи не є дуже складними з точки зору апаратних засобів, але використовують такі пристрої підналагодження як керовані елементи антенно-хвильовідної техніки, розподільчі пристрої, а також, комп'ютер з відповідними базами даних.

Протирадіолокаційні покриття. Це матеріали (зі спеціальними фізичними та хімічними властивостями), які призначені для нанесення на об'єкти, що маскуються, з метою зниження ЕПР чи спотворення характеристик відбитого поля [11].

Існують наступні види протирадіолокаційних покриттів: інтерференційні та поглинаючі [3, 4, 7, 10, 11].

Принцип дії інтерференційних покриттів оснований на зниженні інтенсивності перевипромінюваної енергії за рахунок взаємодії двох і більше когерентних пучків електромагнітних хвиль, що пройшли різні шляхи розповсюдження від об'єкта до приймача РЛС. В результаті взаємодії різних пучків утворюється просторова інтерференційна картина. Тому можливе послаблення відбитих сигналів у напрямках, що збігаються з мінімумами інтерференційної картини [10, 11].

В інтерференційному покритті матеріал і структура покриття вибираються так, щоб падаюча і відбита хвилі взаємно компенсували один одного (Рис. 2).

Принцип дії поглинаючих покриттів оснований на використанні ефекту перетворення енергії падаючих електромагнітних хвиль в теплову або інші види енергії. Явище інтерференції хвиль має дружорядний характер.

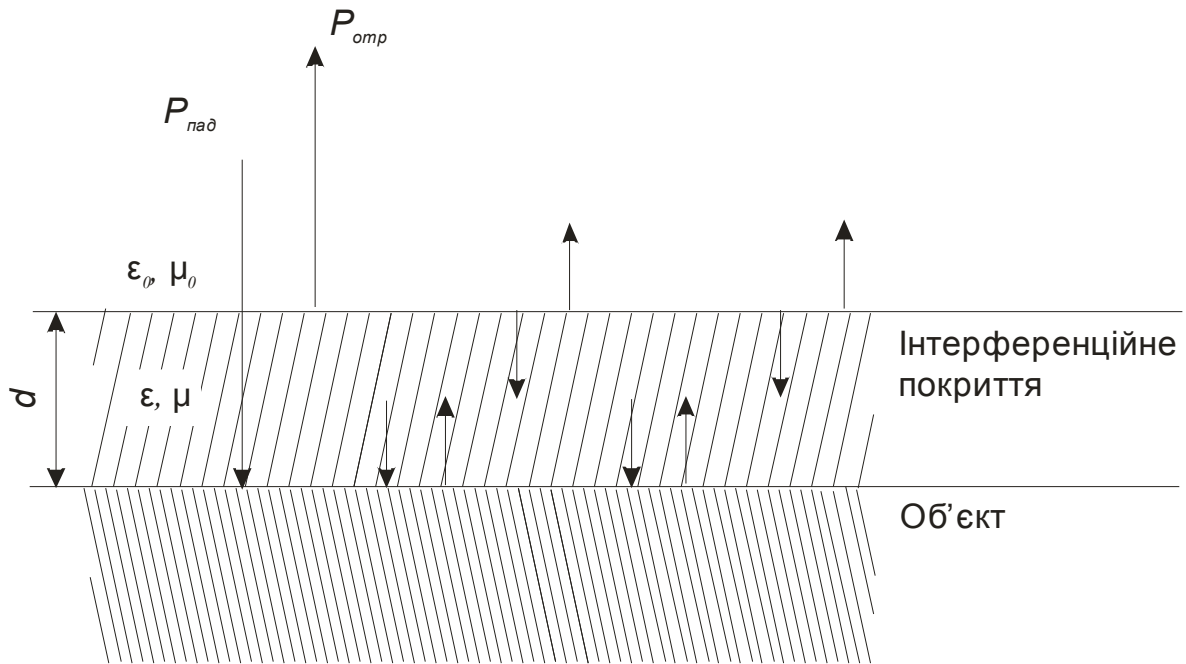


Рис. 2. Принцип дії інтерференційного покриття

Матеріал поглинаючого покриття вибирається з умови забезпечення повного поглинання в ньому падаючих хвиль та відсутності відображення останніх від границі розподілу середовищ [10].

Рекомендується покривати поглиначами гострі ребра, двогранні і тригранні відбивачі і всі поверхні малої кривизни перпендикулярні напрямку падаючої хвилі [5, 6].

Також з метою збільшення площі "зіткнення" радіопоглинаючого покриття з падаючою електромагнітною хвилею на практиці широко поширені покриття з так званими "геометричними неоднорідностями" (Рис. 3) [3]. Ці покриття характеризуються тим, що їхня структура являє собою періодично повторювані нерівності у вигляді пірамід, чи конусів нерегулярних структур.

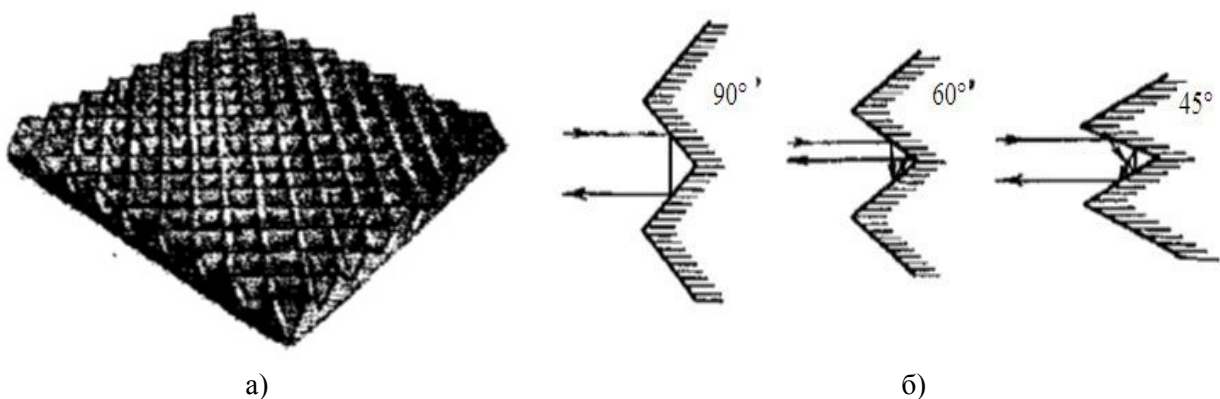


Рис. 3. Поглинаючий матеріал шиповидної форми
а – зовнішній вигляд; б – розсіювання радіохвилі

Використання маловідбиваючих форм. Використання цього методу для зниження ЕПР означає, наскільки це можливо, виключення [6, 12]:

– великої чи малої кривизни металевих поверхонь (особливо тих, які перпендикулярні найбільш небезпечним напрямкам), двограних і триграних відбивачів типу кутових відбивачів, що дають дзеркальне відбиття;

– різких неоднорідностей поверхні;

– наявності порожнин, оскільки при визначених кутах падіння ЕПР порожнини набагато перевищує ЕПР плоскої пластини.

Основною ідеєю методу є створення такої геометричної форми об'єкта, яка має діаграму зворотнього розсіювання з вузькими пелюстками, максимальне значення яких досягається при кутах, що направлені в сторону від напрямку на РЛС.

На основі вищесказаного можна сформулювати ряд принципів, яких необхідно дотримуватися при створенні об'єкта мало відбиваючого об'єкта [1]:

– для підвищення радіолокаційної прихованості об'єкта треба компоувати з елементів з мінімальною шириною діаграми зворотнього розсіювання;

– при створенні малопомітних для РЛС об'єктів необхідно використовувати елементи з мінімальним значенням ЕПР та мінімізувати число відбивачів. Перш за все необхідно уникати використання взаємно-перпендикулярних поверхонь, які утворюють кутові відбивачі;

– взаємне розташування елементів, з яких складається складний об'єкт, повинно мінімізувати число напрямків, на які можуть суміщатися головні пелюстки діаграми зворотнього розсіювання. А якщо такого зміщення не уникнути то потрібно мінімізувати ЕПР елементів по цим напрямкам.

Можливості застосування способів до наземних та повітряних об'єктів. Типові наземні та повітряні об'єкти мають розміри у сотні довжин хвиль та на їх поверхні можуть існувати десятки, якщо не сотні, джерел луна-сигналів ("блискучих точок"). Істотно, що не зовсім практично конструювати прилади пасивного гасіння для кожного із цих джерел. Крім того, пасивне гасіння може навпаки привести до збільшення ЕПР при невеликій зміні частоти або кута спостереження.

У випадку активного гасіння випромінений радіосигнал повинен мати таку амплітуду і фазу, щоб погасити (скомпенсувати) відбиту енергію. Це, в свою чергу, припускає, що ціль повинна бути настільки "розумною", щоб вираховувати кут падіння, інтенсивність, частоту та форму падаючої на неї хвилі. Вона також повинна бути достатньо "розумною", щоб настільки швидко знати (вираховувати) свої радіолокаційні характеристики (тобто характеристики своєї ЕПР) для конкретної специфічної довжини хвилі та кута падіння, щоб генерувати належну форму (амплітуду) радіохвилі та частоту. Це означає, що така система повинна бути також настільки адаптивною, щоб формувати та випромінювати радіоімпульс необхідної амплітуди та фази у необхідний час.

Ясно, що відносні труднощі активного гасіння зростають з ростом частоти тому, що у цьому випадку центри розсіювання фазуються, а також дефазуються при менш примітних її змінах. Крім того, на цих частотах діаграми розсіювання постають більш складними. Таким чином, активне гасіння найбільш доцільне для зниження ЕПР на низьких частотах, де

використання поглиначів та шейпінгу стає дуже складним, а діаграми розсіювання (моностатичні ЕПР) мають широкі пелюстки [2].

Використання методів активного та пасивного гасіння радіохвилі для повітряних об'єктів ускладнюється через їх вузькосмуговість і необхідність використання комбінацій щілин для розширення діапазону, а також необхідність розміщувати на об'єкті щілини та отвори, що суттєво погіршують аеродинамічні властивості об'єктів. Ці методи також не дають бажаних результатів внаслідок великої амплітуди коливань і тангажу об'єкта при польоті, що суттєво при цьому методі, оскільки діапазон кутів падіння хвилі у цьому випадку значно розширюється.

Використання інтерференційних покриттів до наземних показує, що в напрямку падіння хвилі перевипромінювання відсутнє. Однак в інших напрямках інтенсивність відображених сигналів може бути велика. Це є недоліком, який обмежує застосування інтерференційних покриттів при вирішенні задачі радіолокаційного маскування.

Другим недоліком інтерференційних покриттів є їх недостатня широкосмуговість.

При застосуванні поглинаючих покриттів матеріал покриття повинен забезпечувати плавну зміну діелектричної та магнітної проникності, що забезпечують повне проникнення падаючих хвиль в покриття. Ці зміни повинні відбуватися на інтервалі, що більший за довжину хвилі, а це означає, що покриття буде мати велику товщину, а відповідно і масу, що не завжди задовольнятиме технічні вимоги як до повітряних так і до наземних об'єктів.

Існуючий аналіз можливостей застосування протирадіолокаційних покриттів у випадку зниження радіолокаційної помітності повітряних об'єктів показує, що всі відомі покриття не стійкі до динамічних навантажень і температурних впливів, не відповідають вимогам за товщиною та масою, а найголовніше, дуже дорогі та складні у виробництві [1, 3, 11].

Шляхом протирадіолокаційного шейпінгу при геометричній формі об'єкта овальної чи конічної форми можна досягти незначного зниження ЕПР, бо в цьому випадку це досягається за рахунок зниження геометричних розмірів, а саме радіуса основи і кута при вершині конуса, що не завжди можливо, а також за рахунок спрощення профілю бічної складової конуса і зменшення радіуса заокруглення нижньої крайки і вершини конуса [6].

Необхідно зазначити, що для створення малопомітних об'єктів у широкому ракурсі опромінення, на етапі проектування використовується процедура протирадіолокаційного шейпінгу, а потім, якщо мало помітність, яка вимагається не досягнута, використовувати протирадіолокаційні покриття. При цьому можна досягти зменшення ЕПР на величину порядку 40 Дб, що дає змогу зменшити ймовірність виявлення об'єкта, а тим самим підвищити ефективність його застосування і зменшити витрати на проведення маскувальних заходів.

Висновки. Проведений аналіз основних шляхів зниження радіолокаційної помітності показав, що найбільш ефективним та економічно доцільним методом зниження радіолокаційної помітності є використання мало відбиваючих форм. Хоча застосування даного методу до повітряних об'єктів потребує подальшого його вивчення та аналізу, оскільки невідомо як зміна геометричної форми об'єкту вплине на його властивості (аеродинаміка, стійкість до навантажень та ін.). Для підвищення радіолокаційної прихованості наземних та повітряних об'єктів найбільш доцільне комплексне використання запропонованих методів, що дасть змогу досягти максимального ефекту.

Література

1. Куприянов А. И. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы : учеб. пособие / А. И. Куприянов, А. В. Сахаров. – Москва : Вузовская книга, 2007. – 356 с.
2. Методи пасивного та активного гасіння ефективної площі цілі / [С. В. Ленков, М. І. Науменко, А. В. Головань та інш.] // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Т. Шевченка. – 2010. – № 27. – С. 171-177.
3. Гончаренко Э. А. Снижение радиолокационной заметности военной техники и объектов / Э. А. Гончаренко // Вологодские чтения. – 2002. – № 16. – С. 8-11.
4. Палий А. И. Радиоэлектронная борьба / А. И. Палий. – [2-е изд.]. – Москва : Воениздат, 1989. – 103 с.
5. Вакин С. А. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки / С. А. Вакин, Л. Н. Шустов. – Москва : Советское радио, 1968. – 48 с.
6. Звонко А. А. Можливості зниження радіолокаційної помітності об'єктів та застосування їх до бойових частин ракет / А. А. Звонко // Військово-технічний збірник. – Львів: АСВ, 2012. – № 1(6). – С. 199-202.
7. Ананьин Э. В. Методы снижения радиолокационной заметности / Э. В. Ананьин, Р. Г. Ваксман, Ю. М. Патраков // Зарубежная радиоэлектроника. – 1994. – № 4-5. – С. 5-21.
8. Knott E.F. Radar Cross Section. Second Edition / E.F. Knott, J.F. Shaeffer, M.T. Tuley. – Boston, London: Artech House, 1993. – 611 p.
9. Jenn, David C. Radar and laser cross section engineering / David C.Jenn – 2-nd ed. Monterey, California: Naval postgraduate school, Reston, Virginia, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2005. – 503 p.
10. Основы теории радиоэлектронной борьбы / под ред. Н. Ф. Николенко. – Москва : Воениздат, 1987. – 351 с.
11. Звонко А. А. Можливості застосування існуючих радіопоглинаючих покриттів до бойових частин ракет / А. А. Звонко // Військово-технічний збірник. – Львів: АСВ, 2012. – № 2(7). – С. 29-32.
12. Беляев Ю. Л. Радиопоглощающие материалы и технологии Стелс / Ю. Л. Беляев // Зарубежное военное обозрение. – 1993. – № 4. – С. 45-47.

Дата надходження в редакцію: 16.04.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Толюпа С. В.