

О.Л. Сидорчук, н.с.

*Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова
Національного авіаційного університету***АНАЛІЗ МЕТОДІВ І СПОСОБІВ ЗМЕНШЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ПОВЕРХНІ РОЗСІЮВАННЯ
АНТЕННИХ СИСТЕМ***(Представлено д.т.н., проф. Манойловим В.П.)**Проведено аналіз методів і способів зменшення ефективної поверхні розсіювання антенних систем та обґрунтовано підхід до її зменшення, який передбачає відведення енергії основної хвилі від рупора та поглинання хвиль вищих типів. Запропоновано конструкції рупорних антен обертової поляризації зі зменшеною ефективною поверхнею розсіювання.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Аналіз стану існуючих та перспективних розвідувальних систем говорить про те, що радіолокаційні системи, встановлені на літаках, вертольотах і безпілотних літальних апаратах [1–3], маючи найбільшу дальність виявлення, здатність працювати у будь-який час доби і за будь-яких погодних умов, є основним засобом дальнього виявлення цілей. Причому пріоритетне значення надається засобам дальнього радіолокаційного виявлення таким, наприклад, як радіолокаційна система спостереження і цілевказівки Joint STARS (Joint Surveillance and Target Attack Radar System) [4], в якій використана низькочастотна надширокопasmовова (20–90 МГц) РЛС Carabas з синтезованою апертурою SAR (Synthetic Aperture Radar). Тому комплексна програма “Стелс” (англійський термін “прихований”), створена свого часу для розробки технології зниження радіолокаційної помітності (РЛП) повітряних цілей, за останні роки [6] у всьому світі продовжена практично на все нові об’єкти озброєння та військової техніки (ОВТ). Вона передбачає проведення ряд дослідницьких, конструкторських і технологічних робіт, спрямованих насамперед на зниження РЛП конкретних об’єктів, що захищаються, за допомогою вдосконалення форм їх зовнішньої поверхні, усунення “блискучих крапок” і застосування спеціальних радіопоглинаючих покриттів і конструкційних матеріалів [7–8].

Створювання малопомітних об’єктів є наслідком науково-технічного прориву у багатовартісних, наукоємних і високоефективних технологіях і належить до прерогативи виключно економічно високо розвинутих держав, доктрини яких передбачають гарантовану воєнно-технічну перевагу над іншими країнами. Тому [1, 5–7] в країнах НАТО, особливо в США, підвищена увага приділяється дослідженням стосовно зниження помітності об’єктів озброєння і військової техніки (ОВТ) в усіх спектральних діапазонах: оптичному, тепловому і радіолокаційному. На підтвердження наведемо світову тенденцію зміни радіолокаційної помітності надзвукових маневрених літаків (рис. 1). Якщо у 1980-х роках літаки типу F-15 мали ефективну поверхню розсіювання (ЕПР) більше 10 м², то вже у модернізованому авіаційному комплексі ЕПР складає 1–1,5 м², а у перспективних авіаційних комплексах п’ятого покоління, таких як F-22, JSF – 0,3 м² [6] (а за іншими джерелами навіть менше).

У зарубіжній літературі можна знайти оцінки відносних втрат літаків, залежно від їх ЕПР (рис. 2). Зменшення ЕПР з 10–15 м² – значення, типового для важких винищувачів четвертого покоління до 0,3 м² дозволяє принципово знизити втрати авіації у бойових діях (рис. 2) [6].

Отже під стелс-технологіями розуміють комплекс технічних рішень, у результаті яких зменшується рівень сигналів, що надходять від об’єкта на приймальній пристрій системи виявлення об’єктів. Основною характеристикою, що виявляє властивості літака, танка або іншого зразка ОВТ як відбиваючого електромагнітні хвилі об’єкта, є ЕПР. Вона характеризує здатність перетворювати падаючу електромагнітну хвилю в розсіяну хвилю, що розповсюджується у напрямку приймача. Тому ЕПР розраховується за формулою [9]:

$$\sigma = 4\pi R^2 \frac{S_{\text{віддана}}}{S_{\text{падаюча}}},$$

де R – відстань між передавачем і об’єктом; $S_{\text{віддана}}$ – щільність потоку енергії розсіяної хвилі поблизу приймача; $S_{\text{падаюча}}$ – щільність потоку енергії падаючої хвилі поблизу тіла.

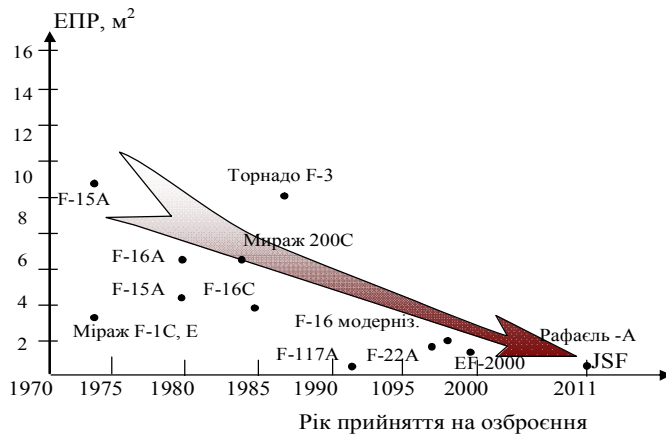


Рис. 1. Тенденції зміни радіолокаційної помітності надзвучових літаків

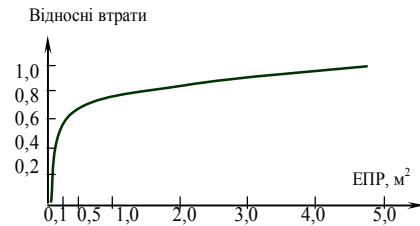


Рис. 2. Втрати літаків при подоланні ППО, залежно від їх ефективної поверхні розсіювання

Величина ЕПР залежить від орієнтації об'єкта відносно променя локатора і довжини хвилі λ (рис. 3) електромагнітного випромінювання. Якщо розглядати частотну залежність ЕПР металеві сфери (рис. 3), то у діапазоні малої довжини хвилі ЕПР співпадає з площею його поперечного перетину. Якщо довжини хвиль є довгими, що порівняно з розмірами шару, то виникають диференційні мінімуми і максимуми [6].

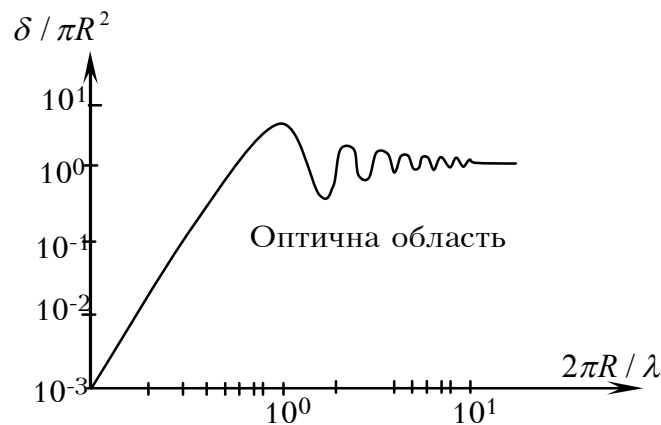


Рис. 3. Частотна залежність ефективної поверхні розсіювання металеві сфери, де R – радіус сфери; λ – довжина хвилі

Але ЕПР для одного й того ж об'єкта, залежно від ракурсів спостереження, є різною (рис. 4–7). На рисунку 4 зображено фасеточну модель літака Су-27 і її діаграма ЕПР, залежно від кута спостереження в горизонтальній площині, а на рисунку 5 діаграма ЕПР звичайного літака і літака з малою ЕПР, що виконано за технологією “Стелс”, тобто малопомітного літака. Якісний стрибок у бойових можливостях літака виник би у тому випадку, якщо б замість ЕПР літака, що зображена суцільною лінією (рис. 5), можна було б отримати ЕПР, що показана пунктиром [6].

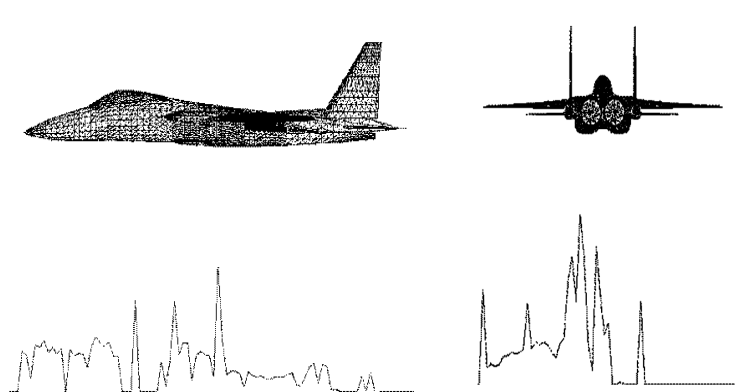


Рис. 4. “Фасеточна” модель літака Су-27 і діаграма ЕПР залежно від кута спостереження в горизонтальній площині

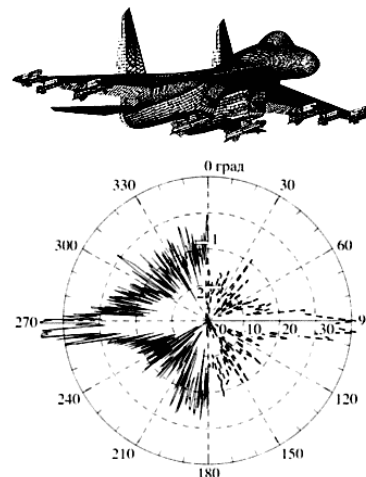


Рис. 5. Діаграма вторинного випромінювання:
— звичайного літака;
--- літака зі зменшеною ЕПР

Взагалі, стелс-технологія починається з математичного моделювання розсіювання електромагнітної хвилі на об'єкті, радіолокаційна помітність якого потребує зниження. Такий крок є принциповим для попередньої оцінки досягнутого результату і дозволяє оптимізувати форму і електрофізичні властивості об'єкта. Математичні і розрахункові моделі базуються на рішенні граничних задач дифракції електромагнітних хвиль на тілах складної форми, що мають у своєму складі спеціальні матеріали і покриття. Можливості сучасної обчислювальної техніки дозволяють створити програмне забезпечення для моделювання розсіювання електромагнітної хвилі навіть на таких складних об'єктах, як бронетехніка, літаки і кораблі [6, 10]. Світовий ринок пропонує значну кількість пакетів програм, що адаптовані для такого моделювання. Всі вони використовують “фасеточні” моделі об'єктів (рис. 4–7) і метод фізичної теорії дифракції [6]. Застосування асимптотичних і гібридних алгоритмів передбачає наявність чіткого уявлення щодо фізичних явищ, які призводять до формування розсіяного поля у кожному конкретному випадку: дзеркальних відбиттях, дифракції на кромках, біжучих хвилях, багаторазових перевідбиттях усередині окремих деталей тощо. Врахування дзеркального перевідбиття для реальних об'єктів реалізується за допомогою розробки “фасеточних” моделей, де поверхня об'єкта представлена великою кількістю окремих плоских площадок простої форми (рис. 4–7).

На сьогоднішній день майже вся рухома техніка має антенні системи. Практика показує, що бортові антенні пристрої на “Стелс” об'єктах є основними джерелами високої ЕПР у широкому секторі кутів і смузі частот [10].

Найбільшу ЕПР мають дзеркальні антени великої апертури (антени радіолокаційного прицілу, радіолокаційного візира та інші), а також плоскі багатоелементні фазовані антенні решітки, що вже широко використовують на сучасних об'єктах і планують застосовувати у перспективних виробках [11]. Внесок антен у сумарну ЕПР об'єктів ОВТ може складати до 90 % при деяких ракурсах спостереження [12]. Наприклад, внесок антен бортових РЛС в інтегральну ЕПР складає:

- для літаків тактичної авіації – від 10, 20 до 40, 50 %;
- для ракет з самонаведенням у найбільш небезпечному секторі кутів спостереження в тому числі у передній півсфері – 30, 90 %.

Якщо така ракета знаходиться на об'єктах, виконаних за технологією “Стелс”, їх внесок у загальну ЕПР в області основної пелюстки діаграми направленості (ДН) може досягати 95 %, а у всій передній півсфері – понад 35 %. Так для ракет з самонаведенням ЕПР антени радіолокаційного візування діаметром 25 см змінюється від 0,1–0,7 м², на частоті 0,5 ГГц до 50–100 м² на частоті 18 ГГц [13–14].

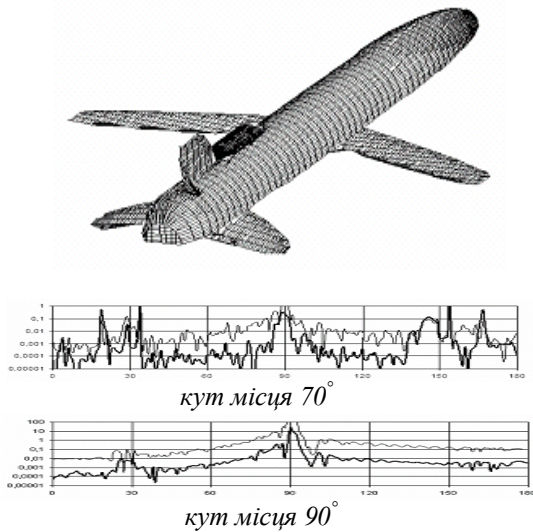


Рис. 6. Фасеточна модель крилатої ракети ALKM і її ЕПР на частоті 10 ГГц при куті місця 70° і 90°

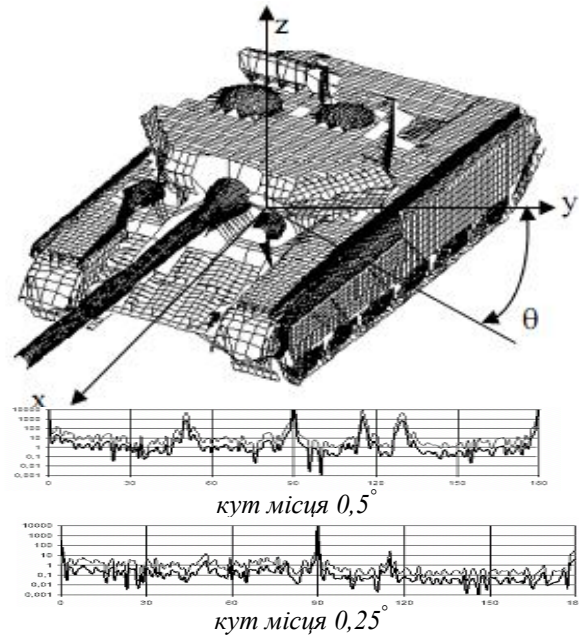


Рис. 7. Фасеточна модель танка T-90 і його ЕПР на частоті 37,5 ГГц при куті місця $0,5^\circ$ і $0,25^\circ$

Ця обставина істотно утрудняє рішення задачі протирадіолокаційного маскування об'єктів ОВТ у комплексі. Так за повідомленнями [15–16], виступаючи антенні обтічники і бортові антени збільшують радіолокаційну помітність винищувача F-117, що сприяло його виявленню засобами ППО Саудівської Аравії в ході випробувань. І, як наслідок, – фірма Lockheed розглядає питання щодо початку виробництва модернізованої серії винищувачів F-117 “Стелс” [15–16], де антени радіолокаційних систем і систем зв'язку будуть замінені конформною ФАР. Взагалі, згідно з оцінками керівництва Lockheed, на сучасному етапі розвитку технології “Стелс” проблема створення антенних пристроїв [16] і елементів конструкції об'єктів із зменшеною радіоелектронною помітністю є актуальною.

Внесок антенних систем у помітність наземних і морських об'єктів не менший, ніж у літальних апаратів. Тому виникає насущна проблема розробки методів і способів зменшення радіолокаційної помітності бортових антен для всіх видів об'єктів.

Метою роботи є аналіз методів і способів зменшення ефективної поверхні розсіювання приймальних антенних систем та обґрунтування підходу до її зменшення.

Таким чином, на сучасному етапі розвитку технології “Стелс” без кардинального вирішення завдання зниження РЛП антен, подальша розробка “малопомітних” носіїв є дуже проблематично. Сказане вище дозволяє вважати зниження ЕПР існуючих антенних пристроїв, забезпечення їх радіомаскування і створення нових антен із зменшеною РЛП актуальним завданням.

Викладення основного матеріалу. На сьогоднішній день існуючі технічні рішення зменшення поля перевипромінювання об'єктів (літаків, БПЛА, танків, ракет кораблів тощо) передбачають [9–11]:

- застосування протирадіолокаційних покриттів, що зменшують ЕПР об'єктів;
- вибір об'єктів відповідної форми;
- розміщення двигунів усередині елементів конструкції;
- зменшення площі поперечного перетину об'єкта, або зменшення посадки корабля над рівнем моря;
- внутрішня підвіска зброї;
- виготовлення цільних деталей об'єкта, для уникнення швів, клепок та інших з'єднань тощо.

Проте дані рішення не можуть бути застосовані для антенних пристроїв. Відповідно до теорії, антена здатна приймати (випромінювати) енергію електромагнітного поля лише у тому випадку, якщо не менше половини цієї енергії вона розсіює [7]. Таким чином, гостро направлена антена вже за визначенням є джерелом високої ЕПР. Висуваються вимоги збереження робочих характеристик антени на основній частоті при мінімальній її радіолокаційній помітності. У загальному випадку для вирішення протиріччя між цими вимогами та конструкцію антени доводиться оптимізувати за комплексним критерієм. Для зниження ЕПР антен не можна застосовувати традиційні радіопоглинаючі матеріали і покриття, що широко використовуються для зниження ЕПР об'єктів [6–9]. Зниження ЕПР антени у такий спосіб неодмінно призведе до погіршення основних параметрів антени (коефіцієнта посилення та направленої дії тощо), що у більшості випадків є неприпустимим.

У свою чергу, для вирішення завдання зниження радіолокаційної помітності антенних пристроїв, необхідні високоефективні методи аналізу і синтезу їх характеристик розсіювання. Отже актуальним є завдання дослідження характеристик розсіювання антенних систем з метою можливого зниження їх ЕПР і використання їх, наприклад, у адаптивному режимі для вирішення завдань зниження радіолокаційної помітності об'єктів в цілому.

У більшості антенних систем, що встановлені на зразках ОВТ, а саме на радіотехнічних антенних системах як опромінювач використовується рупорна антена (РА). Тому для зменшення ЕПР РА, а значить і розсіювання самого об'єкта, необхідно ліквідувати або зменшити амплітуди збуджених у розкритті РА хвиль вищих типів. При цьому можливі такі шляхи зменшення розсіяного поля.

1 спосіб – екранувати антенну поверхню, що пропускає електромагнітні хвилі, що падають на антену, або відбиті нею у робочій смузі антени, але не пропускаючи хвилі, що не належать цій смузі. Екран може екранувати як всю антену, так і її опромінювач. Як таке вирішення завдання може бути розглянута робота [17] (авт. свідоцтво). В розкритті антени РЛС належать захисний фільтр у вигляді дихроїчного дзеркала, основною функцією якого є відбиття падаючого на нього електромагнітного випромінювання в напрямку, що не співпадає з геометричною віссю антени РЛС, на кут 150° , що дає послаблення відбитого випромінювання не менше ніж на 20 Дб при різних частотах випромінювання РЛС і електромагнітних коливань, що падають на антену. Такий фільтр може вводитися в антену постійно, або тимчасово на період її опромінення.

Перший спосіб є найбільш універсальним. Він може бути застосований для будь яких антен як рупорних, так і решіток вібраторних випромінювачів, лінзових антен та інших. При цьому форма екрана не обов'язково може бути плоскою. Однак цей спосіб має істотні недоліки, які полягають у тому, що екран є вузькосмуговим як в силу вузькосмуговості елементів екрана, так і їх сукупності. Тому цей шлях не застосовується для ширококугових антен, а може бути зручним лише для вузькосмугових РЛС.

2 спосіб – встановлення перед антенною системою екрана, на поверхні якого розміщені так звані частотно-вибіркові структури – система періодичних отворів відповідної форми, налаштованих таким чином, що вони вільно пропускають в обох напрямках електромагнітну хвилю у вузькій смузі власних частот локатора і повністю відбивають електромагнітні хвилі інших частот. Якщо вводити у ці спеціальним чином організовані отвори (що по суті є відкритими резонаторами) керовані напівпровідникові системи, то можна за бажанням закрити екран, зробивши його непрозорим для всіх частот [6].

Залежно від конкретної конструкції антени можна використовувати як частотно-селективний екран, так і плазмовий. Він монтується (наприклад, всередині обтікача кабіни пілота) таким же чином, як і частотно-селективний, але його принцип дії – інший. За відсутністю сигналу керування (який може подаватися пілотом літака або його станцією виявлення зовнішнього опромінення) екран вимкнений і прозорий на всіх частотах. Коли надходить сигнал, на екран подається напруга, у ньому запалюється низькотемпературна стикова плазма, в результаті випромінювання частково відбивається від екрана, а частково поглинається в ньому. Екран є ефективним для електромагнітного випромінювання всіх частот, менших за плазмову [6].

Другий спосіб є новітнім, інноваційним. За повідомленням Російської академії наук [6], встановлення таких екранів на літаках п'ятого покоління, виконаних за "Стелс" технологіями, демонструють високу ефективність запропонованих рішень, що направлені на зниження радіолокаційної помітності антенного відсіку. Однак цей спосіб дуже дорогий і тому немає сенсу встановлювати такі екрани на звичайних РЛС.

3 спосіб – направити дзеркало антени донизу під кутом 30° , що дасть можливість суттєво знизити ЕПР вздовж осевого напрямлення. Таке рішення широко застосовується для маскування антенної системи малопомітних літаків та ін. [15–16]. Але у більшості випадків така процедура недостатньо ефективна.

4 спосіб – розробити відбиваючу поверхню дзеркала, що має властивості відбивати електромагнітне опромінення, що належить лише робочому діапазону антени і пропускає це опромінення на всіх інших частотах, що не належать до даного діапазону. За таким дзеркалом може бути встановлене поглинаюче покриття, яке, таким чином, істотно зменшить ЕПР антени в цілому [18].

Четвертий спосіб, так само як і перший, є вузькосмуговим і може застосовуватись як у першому випадку для вузькосмугових антен РЛС.

5 спосіб – зміна конструкції антени. Найбільш цікавими є такі способи:

а) зменшення ЕПР дзеркальної антени за рахунок винесення опромінювача із фокуса вздовж фокальної осі. При цьому, як відомо, буде зменшуватися КНД антени, але зміна ЕПР носить більш різкий характер. Можливе винесення опромінювача на відстань $\sim \lambda/4$ без істотної зміни КНД. ЕПР при цьому значно зменшиться [18];

б) спосіб заміни одного великого розкриву кількома розкривами меншого розміру, запропонованими в роботі [9]. В цьому випадку зменшаться амплітуди хвиль вищих типів, збуджені у розкриві антени.

П'ятий (а) спосіб – винесення опромінювача із фокуса не завжди застосовується, оскільки навіть незначне зменшення коефіцієнта направленої дії антени є непридатним; б – заміна одного випромінювача кількома – не завжди конструктивна.

б спосіб – розробити такі конструкції рупорних випромінювачів, які не мали б недоліків, властивих рупорним антенам. При цьому можна розглянути такі способи зменшення ЕПР:

а) розробка нових конструкцій антен зі зменшеними ЕПР, що виконують роль рупорних випромінювачів [9];

б) при застосуванні в ролі опромінювачів одночасно декількох рупорних антен можлива розробка одного багатодіапазонного рупорного опромінювача. При цьому досягається істотне зменшення ЕПР за рахунок зменшення кількості відбиваючих об'єктів, розміщених в області фокуса дзеркальної антени;

в) поставити після розкриву рупора фільтр, який би поглинав вищі типи хвиль, збуджені у розкриві і пропускав хвилю основного типу (фільтруючий спосіб);

г) застосувати розсіювальні елементи (вібратори, щілини у стінках рупора), які розміщуються поблизу розкриву рупора і створюють розсіяне поле, що компенсує поле, створене хвилями вищих типів у заданих напрямках (компенсуючий спосіб).

Шостий спосіб – застосування перевідбиваючих елементів призводить до істотного зменшення перевипромінювання в заданих напрямках, причому це зменшення також вузькосмугове. Застосування багатодіапазонних рупорних опромінювачів може істотно знизити ЕПР антени в цілому і в той же час опромінювач є широкосмуговим.

З аналізу підходів до зменшення ЕПР на рупорних антенах зроблено висновок, що шостий спосіб є одним з найбільш перспективних і може знайти широке застосування.

Конструкції рупорних опромінювачів зі зменшеним перевипромінюванням від розкриву антени можуть бути двох варіантів. Перший варіант полягає в тому, щоб відфільтрувати хвилі вищих типів, при цьому хвиля основного типу повинна проходити у хвилевід без спотворення. Енергію парних гармонік можна відвести, наприклад, за допомогою резонансних, або нерезонансних щілин, прорізаних у широкій стінці рупора вздовж його осі. При цьому повинно бути узгодження щілин із рупором. Щілини у цьому випадку можуть або випромінювати у вільний простір, або можуть бути навантажені смуговим, або хвилевідним узгодженим навантаженням. Такі конструкції розглянуто в роботах [17–18].

Недоліком цього варіанта є малий діапазон, в якому можливе зменшення ЕПР. Цей діапазон буде визначатися смугою елементів, які відводять енергію вищих типів і їх узгодженням із поглинаючими навантаженнями.

Другий варіант конструкцій зі зменшеною ЕПР базується на відводі за допомогою направленою відгалужувача хвилі основного типу від рупора і поглинання хвиль вищих типів в узгодженому для цих типів хвилі навантаженні. Конструкції таких відгалужувачів розроблено в роботах [19–24]. У цьому випадку смуга роботи антени буде визначатися смугою роботи направленою відгалужувача, а діапазон частот, в якому можливе зменшення ЕПР, лише розмірами розкриву рупора і поглинаючим навантаженням для хвиль вищих типів. Направлені відгалужувачі, вказані вище, мають широку смугу, спільномірну зі смугою роботи РА. Можливі й інші методи.

Таким чином, із розглянутих нами шляхів зменшення ЕПР від РА найбільш вірогідним для поставленого завдання зменшення ЕПР при одночасній роботі антени в широкій смузі частот є останній, із розглянутих вище, коли енергія основної хвилі відводиться від рупора, а хвилі вищих типів, а також енергія основного типу частот, що не належать до діапазону антени, попадає на поглинач. Розв'язання даної задачі опубліковано у [19–24].

Приклади конструктивних рішень зменшення ЕПР РА наведено на рисунках 8, 9.

Запропоновані рішення мають спільні елементи конструкції. Такими елементами є послідовно встановлений пірамідальний рупор та відрізок квадратного хвилеводу з фазуючою секцією, по кутах якого прорізани дві довгі гантелеподібні щілини, навантажені коаксіальними лініями, а на короткозамкнутій стінці встановлена поглинаюча пластина. Дві довгі гантелеподібні щілини виконано неоднорідними і тому вони працюють на всій смузі відрізка квадратного хвилеводу, що значно збільшує широкосмуговість усієї антени.

На рисунку 8 наведено приклад такої конструкції рупорної антени зі зменшеною ЕПР [19–22].

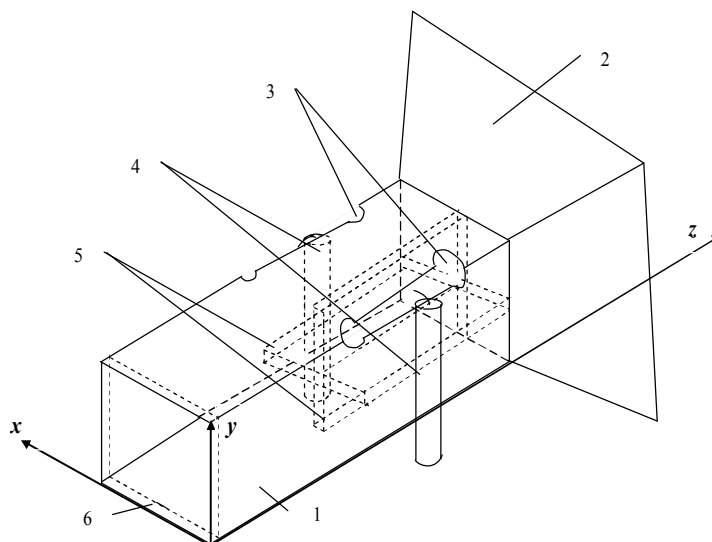


Рис. 8. Конструкція рупорної антени колової поляризації зі зменшеною ЕПР:
 1 – хвилевід; 2 – розкрив рупора; 3 – гантелеподібні щілини; 4 – коаксіальне навантаження; 5 – діелектричні пластини для обертової поляризації; 6 – поглинаюча пластинка

Випромінювач складається з відрізка прямокутного хвилеводу 1, розміщеної перпендикулярно до нижньої стінки діелектричної пластини 2, повздовжньої щілини 3, що порізана посередині бокової стінки хвилеводу. Щілина збуджується коаксіальною лінією 5 (рис. 8), випромінювальний хвилевід закінчується поглиначем 4. Діелектрична пластинка несе функцію вирівнювача фазових швидкостей хвилеводу і щілини, а поглинач для поглинання енергії від усіх збуджених у хвилеводі хвиль, що не перейшли у щілину.

Пристрій, що розглядається, працює таким чином. При падінні електромагнітних хвиль на розкрив антени на ньому збуджуються хвилеводні хвилі, які, поширюючись по хвилеводу, перевипромінюються у щілину за умови співпадання фазових швидкостей хвиль у щілині і хвилеводі. Хвилі, фазові швидкості яких відмінні від фазової швидкості хвилі у щілині, щілини не збуджують і, поширюючись далі по хвилеводу, попадають на поглинач і назад не відбиваються. Осьова діелектрична пластинка обирається таким чином, щоб її товщина дозволила вирівняти фазові швидкості хвилеводу в щілині, а довжина – за умови повного перевипромінювання хвилі хвилеводу H_{01} – у щілину. Розрахунок параметрів запропонованого випромінювача та методику розрахунку діелектричних пластин, узгоджених із гантелеподібними щілинами для умови повного перевипромінювання хвилі хвилеводу представлено автором у [23].

На зміну антени прототипу, що зображена на рисунку 8 [19], було запатентовано антену-винахід (рис. 9, а) [24].

Запатентована антена працює таким чином. Якщо на розкрив пірамідального рупора 2 попадає плоска електромагнітна хвиля, то її можна представити у вигляді двох хвиль правого і лівого обертання: H_{10} , H_{01} . Проїшовши фазуючу секцію у вигляді трапецеїдальної поглинаючої пластини 5, ці дві хвилі одержують додатковий набір фази 90° . Одна з хвиль, наприклад, H_{10} , на прийом якої розрахована одна з двох довгих гантельних щілин 3, матиме складові електромагнітного поля синфазні і ця хвиля буде їх збуджувати. При цьому інша довга гантельна щілина збуджуватись не буде, оскільки складові магнітного поля будуть на ній у протифазі. У той час хвиля H_{01} протилежного обертання, проїшовши фазуючу секцію, навпаки, матиме складові електромагнітного поля у протифазі біля першої щілини і збуджувати її не буде, а на другій гантелеподібній щілині електромагнітне поле буде у фазі і щілина буде збуджуватись. Таким чином, як і у попередній конструкції (рис. 8), хвилі лівого і правого обертання проходять у дві довгі гантелеподібні щілини, а далі, по двох коаксіальних лініях 4 – у виймальний пристрій (на кресленні не показаний). Хвилі вищих типів, що з'явилися у пірамідальному рупорі, частково поглинаються, проїшовши діелектричний конус 7 з поглинаючими канавками 8 і, відбиваючись від поглинаючої пластини 6, остаточно поглинаються у діелектричному конусі 7. При цьому досягається зниження рівня відбиття електромагнітного поля вищих хвиль, що приведе до зменшення рівня бічних пелюсток отже і зменшення ефективної поверхні розсіювання антени.

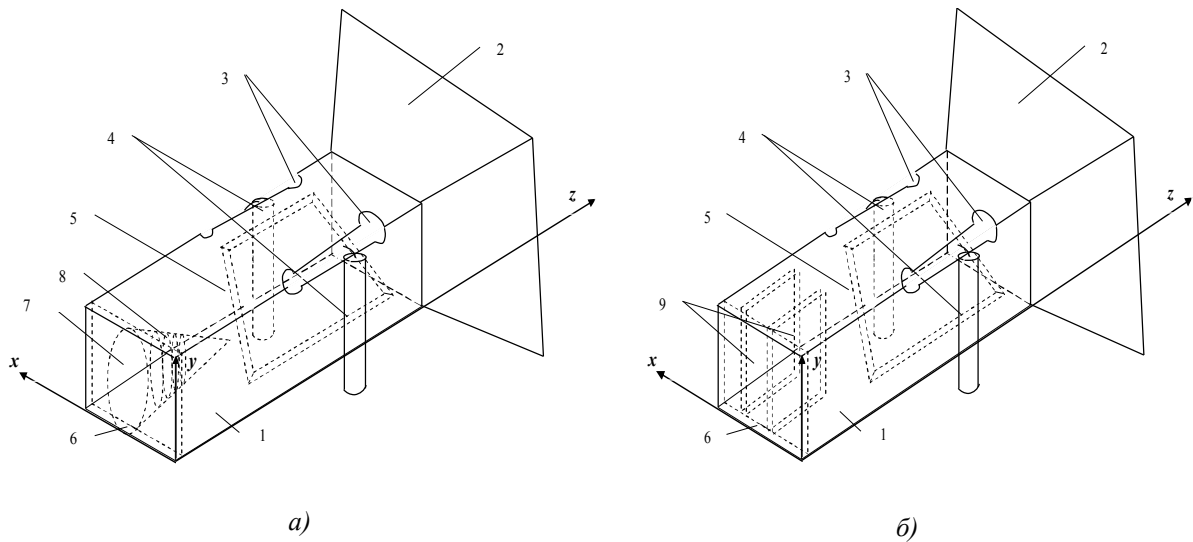


Рис. 9. Конструкція запатентованої рупорної антени колової поляризації зі зменшеною ЕПР: 1 – хвилевід; 2 – розкриття рупора; 3 – гантелеподібні щілини; 4 – коаксіальне навантаження; 5 – фазуюча секція у вигляді трапецеїдальної діелектричної пластини; 6 – поглинаюча пластина; 7 – діелектричний конус з поглинаючими канавками 8; 9 – повздожні поглинаючі пластини (б)

Для зменшення ЕПР, замість діелектричного конуса, можна застосувати хвилевідне навантаження у вигляді повздожніх поглинаючих пластин 9, що кріпляться на закороченій стінці хвилеводу (рис. 9, б).

Запропонована конструкція рупорної антени колової поляризації суміщає у собі дві антени хвиль лівого і правого обертання. При одночасному живленні двох гантелеподібних щілин антена випромінює хвилю колової поляризації або лінійно поляризований сигнал.

При роботі як випромінювач, разом із дзеркальними антенами, запропонована антена працює з двома ортогональними поляризаціями і забезпечує однакову ширину головної пелюстки в Е- і Н-площинах у смузі 1 відрізка квадратного хвилеводу.

Для рівномірного випромінювання дзеркала необхідно, щоб діаграма спрямованості випромінювала малу кількість бічних пелюсток тобто малу ЕПР.

Проведені дослідження запропонованої рупорної антени (рис. 9, а) колової поляризації у діапазоні 8–12 ГГц показали, що ЕПР складала 35–38 дБ, коефіцієнт еліптичності становив 0,82–0,85, діаграма спрямованості була 55–65 на рівні 0,5, коефіцієнт стоячої хвилі становив 1,25–1,35, а втрати – 0,5–0,7 дБ.

Таким чином, проведені вдосконалення рупорної антени колової поляризації дозволили вирішити поставлене завдання.

Висновок. Проведено аналіз методів і способів зменшення ЕПР приймальних антенних систем та обґрунтовано підхід до зменшення ЕПР рупорних антен, який передбачає відведення енергії основної хвилі від рупора та поглинання хвиль вищих типів. Запропоновано конструкції рупорних антен зі зменшеною ЕПР.

Метою подальших досліджень є розробка фасеточної моделі запропонованих антен і проведення математичного моделювання розсіювання електромагнітної хвилі на об'єкті, що має подібну антену, з метою зниження його радіолокаційної помітності.

Список використаної літератури:

1. International Defense Review // 1995 . – 28, № 1. – С. 34–39.
2. Jane's Defence Weekly // 1995, December. Advertising Supplement. – Boeing. – Pp. 1–7.
3. The CRESO concept / Peruzzi Luca // Def. Helicopter. – 1996. – 15, № 2. – С. 42–44, 46.
4. Foss Christopher F. Russia fields "Spiral" ATGN replacement / F. Foss Christopher // Jane's Def Weekly, 1994. – 22, № 13. – С. 23.
5. IEEE AES System Magazine. – 1999. – № 2. – P. 12.
6. Лагарьков А.Н. Фундаментальные и прикладные проблемы Стеле технологий / А.Н. Лагарьков, М.А. Погосян // Вестник российской Академии Наук. – 2003. – Т. 73, № 9. – С. 848.
7. Ананьин Э.В. Методы снижения радиолокационной заметности / Э.В. Ананьин, Р.Г. Ваксман, Ю.М. Патраков // Зарубежная радиоэлектроника. – М., 1994. – № 4–5. – С. 5–21.

8. *Васин А.С.* Способы уменьшения ЭПР летательных аппаратов / *А.С. Васин* // Техника воздушного флота. – 1986. – № 1. – С. 33.
9. *Астахов В.Н.* Дифракция на проводящем шаре в поле параболической антенны / *В.Н. Астахов* // Изв. ЛЭТИ. научн. тр. / Ленинградский электротехнический ин-т им. В.И. Ленина. – 1974. – Вып. 155. – С. 25–31.
10. *Сотников А.М.* Оценка отражающих свойств наземных и воздушных объектов с пассивной защитой на основе композитных радиоизотопных покрытий / *А.М. Сотников, Р.Г. Сидоренко, Г.В. Рыбалка* // Системи управління, навігації та зв'язку. – ХУПС, 2009. – Вип. 1 (9). – С. 70–74.
11. *Aerospace America*. – 1991. – II. – Vol. 29. – № 2. – Pp. 32–35.
12. *Defense Electronics*. – 1990. – XII. – Vol. 22. – № 22. – P. 12.
13. *Кобак В.О.* Радиолокационные отражатели / *В.О. Кобак*. – М. : Сов. радио, 1975. – 248 с.
14. *Обуховец В.А.* Микрополосковые отражательные антенные решетки. Методы проектирования и численное моделирование : монография / *В.А. Обуховец, А.О. Касьянов* ; под ред. *В.А. Обуховца*. – М. : Радиотехника, 2006. – 240 с.
15. *Thornton J.* Dimensioning a Retro-Directive Array for Communications via a Stratospheric Platform / *J. Thornton* // *ETRI Journal* – Vol. 24, № 2, April 2002. – Pp. 153–160.
16. *Tseng W.J.* Van Atta Array Reflector with retro directivity in Both E-Plane and H-Plane *W.J. Tseng, S.J. Chung, K.A. Chang* // *Planar, IEEE Trans. On Antennas and Prop.*, Feb. 2000. – Vol. 48. – Pp. 173–175.
17. А. с. 257243 / СССР / заявл. 22.04.86 № 3142335, опубл. 01.07.87.
18. *Ямпольский В.Г.* Антенны и ЭМС / *В.Г. Ямпольский, О.П. Фролов*. – М. : Радио и связь, 1983. – 270 с.
19. *Манойлов В.Ф.* Рупорная антенна круговой поляризации с уменьшенной эффективной поверхностью рассеивания / *В.Ф. Манойлов, В.В. Павлюк, О.Л. Сидорчук* // матер. 19-ой Междунар. Крымской конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2009) (Севастополь, 14–18 сент. 2009 г.). – Севастополь : Вебер, 2009. – С. 450–451.
20. *Сидорчук О.Л.* Дифракція плоскої електромагнітної хвилі на рупорній антені / *О.Л. Сидорчук* // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – Житомир, 2010. – № 2 (53). – С. 167–174.
21. *Манойлов В.П.* Дифракція плоскої електромагнітної хвилі на рупорній антені / *В.П. Манойлов, О.Л. Сидорчук* // тези доповідей V Міжнар. наук.-тех. конф. «Інформаційно-комп'ютерні технології 2010» (20–22.05.2010). – Житомир : ЖДТУ, 2010. – С. 89–90.
22. *Манойлов В.П.* Малогабаритна рупорна антена кругової поляризації зі зменшеною ЕПР / *В.П. Манойлов, О.Л. Сидорчук* // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – Житомир, 2009. – № 4 (50). – С. 147–152.
23. *Сидорчук О.Л.* Методика зменшення ефективної поверхні розсіювання рупорної антени з гантелеподібними щілинами / *О.Л. Сидорчук* // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – Житомир, 2011. – № 4 (59). – С. 91–100.
24. Пат. на винахід 96661 / UA / H01Q 13/10 (2006.01) // *В.П. Манойлов, О.Л. Сидорчук* ; заявл. 06.04.10, опубл. 25.11.11, Бюл. № 22.

СИДОРЧУК Ольга Леонідівна – науковий співробітник науково-дослідної лабораторії наукового центру Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– радіотехнічні антенні системи.

Стаття надійшла до редакції 22.03.2012