

УДК 621.396.96

Ю.В. Севостьянов, С.М. Каратєєв, Л.С. Северін, І.М. Ключников

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

## **ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ НА ВИПРОМІНЮВАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ЛІТАКІВ ДАЛЕКОГО РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ВИЯВЛЕННЯ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ, ЯКІ ЛЕТЯТЬ НА ФОНІ ЗЕМЛІ**

*Розглядаються принципи функціонування та режимі роботи на випромінювання авіаційних радіолокаційних систем з низькою, середньою та високою частотами повторення зондувальних імпульсів при спостереженні повітряних об'єктів у передню, задню, нижню, верхню напівсфери спостереження. Пропонуються пропозиції щодо обґрунтування режимів роботи багатофункціональних радіолокаційних систем на випромінювання літаків далекого радіолокаційного виявлення і спостереження повітряних цілей, які летять на фоні підстильної поверхні.*

**Ключові слова:** ефективна поверхня розсіяння, завадові відбиття, підстильна поверхня, висока частота повторення, середня частота повторення, низька частота повторення, випромінювання, зондувальні імпульси, відбиті коливання полярність, поляризація, вектор електричного поля.

### **Вступ**

**Постановка проблеми і аналіз літератури.** У 50-і роки ХХ ст. завдання комплексів протиповітряної оборони (ППО) і управління повітряним рухом (УПР) по виявленню, супроводу літаків і наведенню на них винищувачів були вирішені шляхом створення суцільного поля радіолокації над територією США, СРСР, Європи і деяких інших країн. Проте залишалися проблеми, які вимагали принципово нових підходів для їх дозволу.

**Перша проблема** полягала у виконанні завдань виявлення, супроводу і розпізнавання повітряних цілей, що летять на малих і гранично-малих висотах. Дальність прямої видимості в цих випадках визначає можливу дальність виявлення цілей і складає 10...30 км., а з урахуванням польоту цілей з обгинанням і обльотом нерівностей рельєфу земної поверхні вона і того менше.

**Друга проблема** пов'язана із завданнями проведення повітряних операцій в різних районах земної кулі, де відсутнє поле радіолокації наземних (корабельних) РЛС, яке може бути використане для вирішення завдань контролю повітряного простору. Особливо гостро ця проблема стояла перед США, військова доктрина яких визначала необхідність військової присутності у всіх районах «американських інтересів». За основну ударну силу при цьому вважалася військова авіація, її носії – авіаносні ударні з'єднання і військові бази, розташовані в різних країнах практично на всіх континентах. Вирішити ці проблеми передбачалося, створивши спеціальні авіаційні комплекси дальнього виявлення радіолокації (ДРЛВ). Могутні станції радіолокацій, розміщені на борту літака, що летить на висоті 9...12 км., можуть виявляти літаки, що летять низько, аж до радіогори-

зонту (400 км.), а також надгоризонтні мети на ще більших дальностях. Основними бойовими завданнями такої системи є завоювання і підтримка переваги в повітрі, управління ударною авіацією при діях з наземних цілей, контроль і управління авіаційними угрупованнями. Така авіаційна система, замовлена ВПС США в кінці 60-х років минулого століття, отримала назву AWACS (АВАКС) – система виявлення і управління повітряного базування. У СРСР такий комплекс був названий АК РЛДН – авіаційним комплексом дозору радіолокації і наведення. Вперше такий комплекс на літаку Ту-126 з радіотехнічним комплексом (РТК) «Ліана» був прийнятий на озброєння в 1965 р. Він мав форму антенної системи у вигляді плоских антенних ґрат в обтічнику грибоподібної форми (мал. 1), що стала згодом класичною, що обертався. Обтічник встановлювався на пілоні понад фюзеляжем літака. Така конструкція і розміщення антени великого розміру забезпечували круговий огляд і велику дальність виявлення літаків, що летять над слабо відзеркальною поверхнею (морська, льодова) в L-діпазоні хвиль роботи радіолокатора.

Всього було створено дев'ять комплексів, які використовувалися в основному в системі ППО з північного і північно-західного напрямів (з боку Північного полюса).

До кінця 60-х років ХХ ст. досвід використання комплексів «Ліана» показав їх недостатню ефективність при виявленні і супроводі швидкісних малопомітних повітряних цілей, що летять на малих висотах у земної поверхні. Це пов'язане з тим, що в комплексах типу «Ліана» для виявлення сигналів, відбитих від повітряних цілей застосовувалися зондувальні сигнали з низькою частотою повторення. Комплекс «Ліана» з такими сигналами для виявлен-

ня і супроводження швидкісних малопомітних повітряних цілей, що летять на малих висотах у земній поверхні по причині залежності потужності завадових відбиттів, від частоти повторення зондуючих імпульсів в авіаційних радіолокаційних системах без доплерівської селекції завадових відбиттів застосовуватись не міг. Графіки, які зображені на рис. 5, 6 показують цю залежність

У 1969 р. було прийнято Ухвал у Ради Міністрів СРСР про розробку радіотехнічного комплексу «Джміль», який повинен був виявляти літаки (бомбардувальники, винищувачі), крилаті ракети і інші літальні апарати на тлі земної поверхні всіх типів на дальності радіогоризонту (цілі з великою ефективною площею розсіювання), надгоризонтні цілі на великій дальності і морські цілі (кораблі). Робота була доручена Московському НДІ приладобудування (НВО «Вега») під керівництвом головного конструктора В.П. Іванова. До складу РТК «Джміль» входили наступні системи: трьохкоординатна РЛС S-діапазону з пасивним каналом пеленгації джерел випромінювання; апаратура знімання і відображення інформації; система активного «запиту-відповіді» і передачі команд цілевказівки винищувачам-перехоплювачам; цифровий обчислювальний комплекс БЦВМ А-50 (НДІ «Аргон») для вирішення завдань управління і наведення винищувачів на повітряні цілі. Число одночасно супроводжуваних цілей – 50, що одночасно наводяться – 10. У модернізованих комплексах «Джміль-М» і «Джміль-2» число супроводжуваних повітряних цілей – відповідно 150 і 300; система держвпізнання; командна лінія радіоуправління; апаратура зв'язку, що засекречує (ЗАС); комплекс зв'язку (дальність радіозв'язку КВ - 2000 км., УКВ - 400 км.), супутниковий радіозв'язок; телекодова апаратура; апаратура документування; комплекс самооборони, що містить системи активної і пасивної радіоелектронної протидії. Маса РТК «Джміль» складала 20 т, що зажадало створення нового носія (замість Ту-126). Новий літак створювався на базі серійного Іл-76, що істотно знижувало вартість життєвого циклу АК РЛДН. Створення літака РЛДН А-50 було наказане ОКБ ім. Г.М. Берієва під керівництвом А.К. Константинова. Перший політ літак А-50 зробив в грудні 1978 р., а з серпня 1979 р. почалися його державні випробування. Конструкція літака А-50 (як і Ту-126) має грибоподібний обтічник антени розміром 0,5x2 м, розташований на пілонах ззаду крила над фюзеляжем і декілька нижче за стабілізатор. Для поліпшення аеродинаміки і зменшення потужності відбитого завадового коливання РЛС від підстилаючої поверхні, розташованої безпосередньо під літаком, позаду на обтічниках шасі поставлені трикутні горизонтальні аеродинамічні гребені великої площі.

Існуючі досвідчені і такі, що розробляються РЛС мають плоскі АФАР, що мають в своєму роз-

порядженні на літаку різним чином. Так, РЛС PS-890 шведської фірми «Еріксон» має плоску двосторонню АФАР завдовжки 8 м, таку, що розташовується на пілонах зверху уздовж фюзеляжу літака SAAB340В комплексу S100 В «Аргус» Кожна сторона АР має 192 твердотільних модуля передавання та прийому S-діапазону і забезпечує круговий огляд з декілька гіршими характеристиками в передньому і задньому секторах.

Аналогічно розташована АФАР фірми «Грумман» на літаку Боїнг-737-80 комплексу 737/MESA. У обтічнику розміром 10,7x1,2x2,4м встановлена антена РЛС MESA (багатофункціональна електронно-скануюча антена) L-діапазону. Французька фірма «Райтеон» розробила комплекс А-310 АEW з РЛС ESA системи «Фалкон» ізраїльської фірми IAIELTO. Три АФАР L-діапазону розташовані у вигляді рівностороннього трикутника в необертальному обтічнику грибоподібної форми на пілонах над фюзеляжем літака А310-300. Таке розташування АФАР дозволяє здійснювати круговий і програмований огляд в будь-якому секторі. Розглядаються також варіанти розташування декілька (до шести) АФАР системи «Фалкон» на бічних поверхнях фюзеляжу, крилах і хвостовому оперенні.

Для забезпечення інформацією про повітряну і надводну обстановку авіаносних ударних з'єднань, що діють далеко у відриві від місць базування комплексів АВАКС Е-3А, необхідний був літак корабельного базування. Літак комплексу Е-3А по масі і габаритам не міг бути розміщений на авіаносцях.

У 1957 р. фірма «Грумман» отримала замовлення на створення комплексу системи управління винищувальною авіацією, ударними авіагрупами і силами ППО над морем, виявлення і розпізнання кораблів, координації пошуково-рятувальних операцій на морі і вирішення інших завдань. Комплекс «Хокай» Е-2а був готовий в 1960 р. Як і комплекс Е-3А, він мав дисковидний обтічник антени розміром 7,2 м, розташований на пілоні над фюзеляжем Комплекс Е-2а неодноразово повністю модернізувався. Була проведена зміна п'яти поколінь РЛС.

Останній варіант комплексу Е-2с має імпульсно-доплерівську РЛС AN/APS-145. Працює РЛС (як і раніше, в UHF) в Р-діапазоні і дозволяє супроводжувати до 2000 цілей на дальностях до радіогоризонту при польоті над морем і наводити винищувачі на 40 повітряних цілей. Подальша модернізація припускає установку РЛС з активними фазованими антенними ґратами. Слід зазначити, що значення комплексів РЛДН (АВАКС) як інформаційних систем безперервно зростає.

Бурхливе зростання можливостей радіо і мікроелектроніки дозволяє створювати комплекси типу АВАКС з високими ТТХ і одночасним зниженням вартості життєвого циклу. Це значно збільшує інте-

рес і можливості оснащення такими комплексами ВВС багатьох країн. Подальші дослідження і розробки в цій області направлені на розширення функцій по контролю не тільки повітряної і надводної, але і наземної обстановки (програма E-10a США). Що розробляється за програмою E-10a комплекс Mc2a буде здатний виконувати функції комплексів АВАКС (E-3B) і ударно-розвідувальних Джістарс (E-8с). Комплекс E-8с забезпечує командування, управління і контроль наземними операціями, включаючи атакуючі дії авіації, корабельних сил, польової артилерії і своїх військ і рухомі цілі на дальностях 250...300 км. в бічному секторі огляду  $\pm 30^\circ$ . Має вдовжфюзеляжну (у підвісному контейнері) антену типу ФАР розміром 7,3x0,6м, що забезпечує в X-діапазоні ширину діаграми спрямованості по азимуту  $0,3^\circ$  і  $3,5^\circ$  по куту місця. Режим синтезування апертури і ширококутовий зондувальний сигнал забезпечують високий дозвіл на місцевості і детальне спостереження цілей, зокрема малорозмірних (танки, ЗРК, БМП і тому подібне). В процесі модернізації роздільна здатність буде підвищена до 1,0.. .0,3 м. Останніми роками зростає інтерес до розміщення інформаційних комплексів, що управляють, на аеростатах і дирижаблях, які можуть забезпечувати тривале безперервне патрулювання заданої зони огляду. При цьому вартість життєвого циклу таких комплексів може бути на порядок нижче за авіаційні комплекси.[1 – 6, 8 – 10].

**Мета роботи** – розробка пропозиції щодо обґрунтування режимів роботи на випромінювання багатофункціональних радіолокаційних систем літаків далекого радіолокаційного виявлення і спостереження повітряних цілей, які летять на фоні підстильної поверхні літаків дальнього радіолокаційного виявлення та управління.

**Основний матеріал**

Аналіз існуючих авіаційних радіолокаційних систем повітряного базування (АРЛС) і останніх розробок показує, що в АРЛС, які стоять на озброєнні є важливі недоліки, – сліпі швидкості, при яких повітряні цілі не виявляються [8]. Це показує, що спостерігається тенденція ще більшого розширення функціональних можливостей даних систем і ведення в них більшого числа режимів обробки відбитих коливань у трактах прийому й обробки сигналів АРЛС. Розглянемо ситуацію пошуку повітряних об'єктів літаком-винищувачем, котрі летять у нижній півсфері, відносно його, як саму з найгірших ситуацій перехоплення й прицілювання. На рис. 1 наведена типова схема положення ДСА РЛС літака, що робить горизонтальний політ із великою швидкістю польоту  $V_c$ . У системі координат літака-носія АРЛС, щодо його лінії польоту показані кути:  $\beta_{гп}$  – кут сканування головного променя ДСА,  $\beta_n$  – кутове відхилення нижнього

краю головного променя ДСА,  $\beta_b$  – кутове відхилення верхнього краю головного променя ДСА,  $\beta_a$  – кутове відхилення лінії головного максимуму головного променя ДСА,  $\beta_{ц}$  – кут візування цілі,  $\theta_{л}$  – ширина головного променя ДСА. Там же показана ціль Ц2, що летить на малій висоті на зустрічному курсі. На рис. 2 наведений відповідній геометрії, показаної на рис. 1, спектр коливань сигналу, відбитого від цілі, й завадових відбиттів [1 – 6].

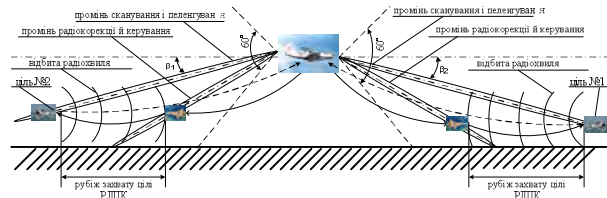


Рис. 1. Схема положення ДСА РЛС літака, що здійснює горизонтальний політ

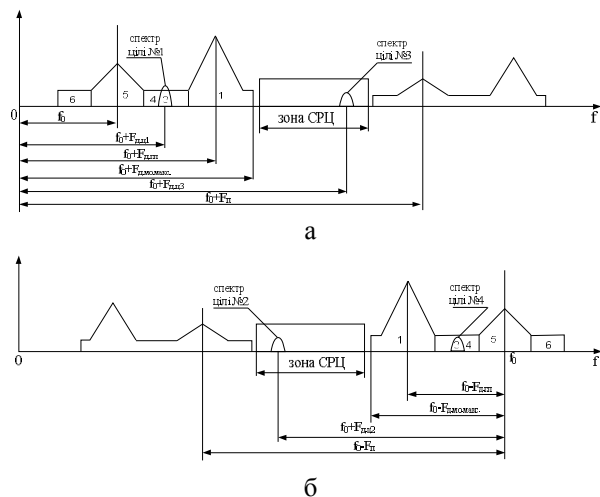


Рис. 2 Спектри повітряних цілей і заважаючих відбиттів, при випромінюванні сигналів на ВЧП

Якщо розглядати ситуацію огляду повітряного простору комплексом ДРЛО в площині кута місця, що відповідає рис. 1, то у фільтровій системі приймача АРЛС при передньому огляді в режимі високої частоти повторення зондувальних імпульсів формуються спектри заважаючих відбиттів, які зображені на рис. 2 і складаються з областей: 1-1 – область спектра заважаючих відбиттів, прийнятих головним пелюстком ДСА, її ширина визначається формулою (2) області 2, 3, 4 – області спектру заважаючих відбиттів, прийнятими бічними пелюстками, що перебувають нижче головного пелюстка ДСА, область 5 – область спектру заважаючих відбиттів, прийнятими бічними пелюстками, що перебувають безпосередньо перпендикулярно під літаком ДРЛО (альтиметрові пелюстки), частоти коливань, що приходять по цим пелюстках мають майже нульовий доплеровський зсув, область 6 відповідає коливанням спектру заважаючих відбиттів, які надходять по заднім бічним пелюсткам (альтиметрові викиди) [1 – 6]. При спостереженні ДРЛО повітряної цілі в передню півсфе-

ру при русі на неї, спектр корисного сигналу, відбитого від цілі буде перебувати в зоні СРЦ (рис. 2, а).

При спостереженні ДРЛО повітряної цілі в передню півсферу при русі від її, спектри заважаючих відбиттів, щодо несучої частоти зондувального сигналу  $f_0$  будуть спрямовані у зворотну сторону (рис. 2, б, 3, б) а спектр корисного сигналу, відбитого від цілі буде перебувати поза зоною СРЦ (рис. 2, б). При спостереженні ДРЛО повітряної цілі в задню півсферу при русі від її, спектр корисного сигналу, відбитого від цілі буде перебувати в зоні СРЦ (рис. 2, б).

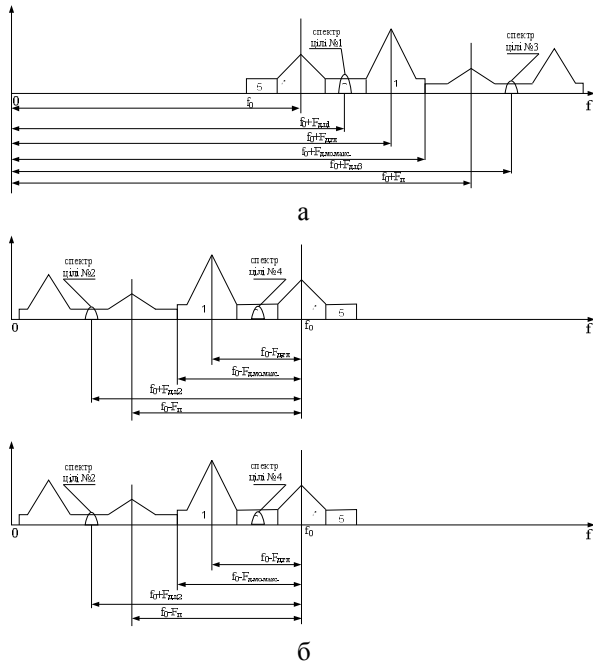


Рис. 3. Спектри повітряних цілей і заважаючих відбиттів, при випромінюванні сигналів на СЧП

На рис. 4 показані спектри повітряних цілей і заважаючих відбиттів, що при випромінюванні зондувальних імпульсів на низькій частоті повторення. З рис. 1 видно, що пелюстки ДСА мають свою ширину. Якщо брати за основу головний пелюсток ДСА, то зі збільшенням дальності він більше розширюється. Це значить, що якщо повітряна ціль летить на фоні Землі, то в тому самому куті спостереження, на певній дальності  $D_1$  перебуває ціль, і на дальності  $D_2 = D_1$  перебуває елемент підстильної поверхні, Землі. Це значить, у просторі по кутовим координатам і дальності не можливо відрізнити корисний сигнал, відбитий від цілі й заважаючі відбиття. На рис. 4, а показано, як:

- при низькій частоті повторення зондувальних імпульсів, спектри заважаючих відбиттів, зростають за рівнем потужності;
- накладення один на одного спектрів заважаючих відбиттів, тим самим сильно маскуючи спектр відбитого корисного сигналу повітряної цілі;
- з'являються "помилкові" спектри цілей, що не дають можливості однозначного виявлення щирого спектра цілі.

Коливання, відбиті від поверхні Землі, надходять до входу РЛС, як по основному (головному) пелюстку (ГП) ДС двохзеркальної антени Косегрена, так і по бічних пелюстках (БЛ). Частотні складові в спектрі відбитого сигналу мають доплерівський зсув частоти, який залежить від кутового положення ділянки, що опромінюється, на поверхні Землі по азимуті  $\varphi$  й куту місця  $\beta$  щодо вектора  $V_{ла}$  швидкості літака. При розгляді вертикальної картинної площини доплерівські складові спектра залежать тільки від кута  $\beta_a$ .

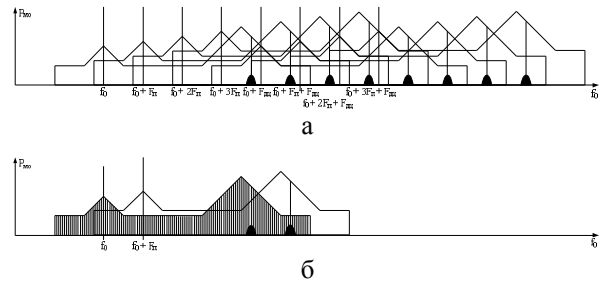


Рис. 4. Спектри повітряних цілей і заважаючих відбиттів, при випромінюванні сигналів на НЧП

З обліком ефективних поверхонь розсіювання (ЕПР) різних типів підстильної поверхні та повітряних цілей, інтенсивність доплерівських складових залежить від кутового положення відбивача, щодо вектора швидкості польоту літака [1 – 6].

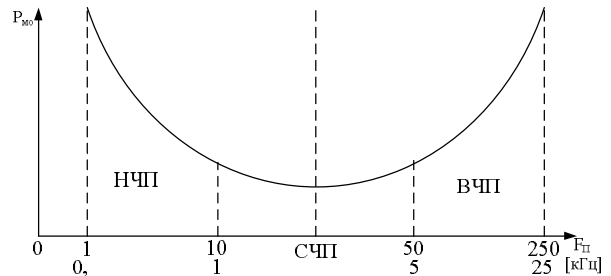


Рис. 5. Залежність потужності завадових відбиттів, від частоти повторення зондуючих імпульсів в авіаційних радіолокаційних системах без доплерівської селекції завадових відбиттів

Значення частот повторення зондуючих імпульсів дані на частотній вісі  $F_{пн} = 1, 10, 50, 250$  кГц. обрані для діапазонів довжин несучих хвиль,  $\lambda_0 = 2, 3, 5, 7$  см., а значення частот повторення зондуючих імпульсів дані на частотній осі  $F_{пн} = 1, 1.5, 25$  кГц приблизно вибранні для діапазонів несучих довжин хвиль  $\lambda_0 = 10, 23, 33, 70$  см.

Значення частот повторення зондуючих імпульсів дані на частотній вісі  $F_{пн} = 1.10.50.250$  кГц. обрані для діапазонів довжин несучих хвиль,  $\lambda = 2,3,5, 7$  см., а значення частот повторення зондуючих імпульсів дані на частотній вісі  $F_{пн} = 1.1.5.25$  кГц. приблизно обрані для діапазонів довжин несучих хвиль,  $\lambda_0 = 10, 23, 33, 70$  см.

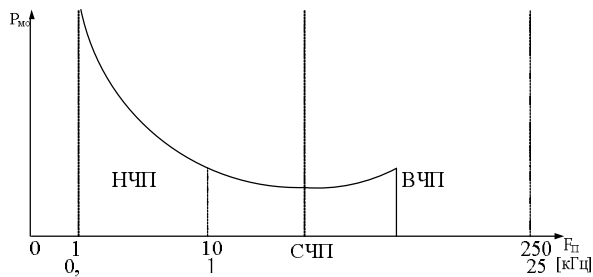


Рис. 6. Залежність потужності заважаючих відбиттів, від частоти повторення зондуючих імпульсів в авіаційних радіолокаційних системах з доплерівською селекцією заважаючих відбиттів

Розглядаючи спектральні складові для кутів  $\beta$  у діапазоні від  $0$  до  $180^\circ$ , одержимо спектр відбиттів від поверхні Землі, показаний на рис. 2, 3, 4. Зондувальний сигнал випромінюється на несучій частоті  $f_0$ , доплерівський зсув частоти головного променя відповідає  $f_0 + F_{д.гл.}$ , доплерівському зсуву сигналу від цілі №2 відповідає  $f_0 + F_{д.ц2}$ , доплерівський зсув частоти сигналу, відбитого від цілі №1 відповідає  $f_0 + F_{д.ц1}$ , спектр завадових відбиттів (ЗВ) на частотній осі буде повторюватися кратно частоті повторення зондувальних імпульсів  $F_p$ , відповідно на величину  $f_0 + F_p$ ,  $f_{дзв.макс}$  – максимальна частота доплера ЗВ, що відповідає верхній границі зрізу заважаючих відбиттів. Інтенсивність складових спектра в цій області ЗВ звичайно має значну величину, залежить від амплітудно-фазового розподілу в апертурі антени, приблизно на  $35...40$  дБ перевищує інтенсивність складових, прийнятих по бічних пелюсткам (БП). Положення максимуму спектральних складових в області 1 у спектрі ЗВ залежить від кутового положення головного пелюстка ДС по нахилі  $\beta_a$  й азимуту  $\varphi_a$ , а також від швидкості літака  $V_{ла}$  на якій установлена РЛС [1–6]:

$$f_{дпл.г} = \frac{2V_{ла}}{\lambda} \cos \beta_a \cos \varphi_a \quad (1)$$

Ширина області відбиттів по ГП ДСА залежить від ширини ДСА у відповідній площині. Дану величину при  $\varphi_a=0$  можна знайти як різницю доплерівських зсувів частот, що відповідають верхньому й нижньому краям ГП ДСА по нахилі на рівні  $0,5$  від максимуму:

$$\Delta f_{гл} = \frac{2V_{ла}}{\lambda} \left[ \cos \left( \beta_a - \frac{\theta_n}{2} \right) - \cos \left( \beta_a + \frac{\theta_n}{2} \right) \right], \quad (2)$$

де  $f_{дп.в}$ ,  $f_{дп.н}$  відповідно доплерівського зсуву частоти завадових відбиттів прийнятих по верхньому й нижньому краях ГП ДСА.

З формули (2) видно, що ширина спектру в області 1 залежить від швидкості польоту  $V_{ла}$ , кута  $\beta_a$  й ширини діаграми спрямованості  $\theta_n$ . Зі збільшенням  $\beta_a$  збільшується й ширина області  $\Delta f_{гл}$ . При малих кутах  $\beta_a$  ширина області  $\Delta f_{гл}$  визначається азимутальним положенням променями  $\varphi_a$ .

Граничні області спектру ЗВ, відзначені на рис. 2 як 1а й б, відповідають доплерівським зсувам частоти, що має максимально можливе значення при даній швидкості польоту літака:

$$f_{дзв.макс} = \frac{2V_{ла}}{\lambda} \quad (3)$$

Інші ділянки спектра (області 2 і 4 на рис. 2) відповідають доплерівським зсувам частот сигналів, прийнятим по бічних пелюстках ДСА, орієнтованим за головним пелюстком відповідно як у площині кута місця, так і азимута [1–6].

Другою особливістю зазначених АРЛС є наявність "сліпих" зон по дальності та неоднозначний вимір часу запізнення відбитого сигналу в часовій області. Це негативне явище обумовлено роботою АРЛС на випромінювання з високими і середніми частотами повторення (ВЧП, СЧП) зондувальних імпульсів через одну антену. Це приводить до тому, що відбиті луна-імпульси від цілі можуть потрапити до антени, коли передавач буде працювати на випромінювання, а вхід приймача в цей час для прийому закритий. Таким чином, частина імпульсів не приймається приймачем, і час затримки вимірюється неоднозначно [1–6]. Для усунення неоднозначності вимірювання часу запізнення відбитого сигналу, застосовують перебір декілька ВЧП, але це приводить до великих похибок вимірювань.

З наведених рисунків 1, 2 і пояснень до них ясно, що в типових ситуаціях у частотній області виявити цілі не уявляється можливим існуючими методами прийому й обробки прийнятих коливань у приймачах авіаційних РЛС. Цей фактор обумовлений тим, що відбиті від цілі й підстильної поверхні, коливання обробляються й підсилюються в підсилювачах проміжної частоти (ППЧ) з постійною амплітудою й накопичуються у фільтрах системи селекції рухомих цілей (СРЦ) послідовно в часі [7–9].

За рахунок доплерівської селекції на поверхні Землі виділяються тільки ті ділянки поверхні, які відповідають частоті налаштування фільтру виявлення ПЦ. Ця смужка, гіперболічна за формою, має ширину на поверхні Землі, еквівалентну ширині смуги пропускання доплерівського фільтру. Сумарна потужність спектру завадових відбиттів в доплерівської фільтровій системі виражатиметься формулою (5). Вона прямопропорційно залежить від середньої потужності передавача ( $P_{ср}$ ), коефіцієнта спрямованої дії антени ( $G$ ), площі ефективної поверхні віддзеркалення антени ( $S_A$ ), ширини діаграми спрямованості антени  $F$ , яка у свою чергу залежить від кутового положення місця ( $\beta_{зві}$ ) і азимута ( $\varphi_{зві}$ ), кількості ділянок підстилюючої поверхні Землі, які настроюють на частоту налаштування фільтру виявлення:  $M_{зв}$ , ефективній поверхні віддзеркалення Землі  $\sigma_{зві}$ , яка у свою чергу теж залежить від кутового положення місця ( $\beta_{зві}$ ) і азимута ( $\varphi_{зві}$ ). Зворотно про-

порційна четвертий ступені поточної дальності виявлення  $D_{зв}$  до ділянки Земної поверхні, яка пере-віддзеркалює хвилю. Кількість ділянок підстилаючої поверхні Землі  $M_{зв}$  знаходиться за формулою (4), де  $2D_{макс}$  – максимальна дальність виявлення АРЛС  $D_{одн} = cTп/2$  – інтервал однозначного вимірювання дальності (кільце дальності), який залежить від швидкості розповсюдження світла  $c = 3 \times 10^8$  м/с, періоду повторення зондуючих імпульсів: –  $Tп$ .

$$M_{зв} = \frac{2D_{макс}}{\Delta D_{одн}}; P_{зв,дф} = \sum_{i=0}^{M_{зв}} \sigma_{зв}(\beta_{зв}; \varphi_{зв}) \times \frac{P_{ср} G S_A F^2(\beta_{зв}; \varphi_{зв})}{(4\pi)^2 D_{зв}^4}$$

У системі координат ДРЛО щодо поперечної вісі вектора швидкості в передній напівсфері на зустрічних курсах виходять позитивні доплерівські зсуви частоти.

### Висновки

На підставі аналізу літератури [1 – 9], напівнатурного й натурного моделювання, досвіду заводських випробувань, технічної експлуатації й ремонту у військових частинах авіаційних радіолокаційних систем повітряного базування, варто зробити висновок, що в наземних РЛС, що працюють на випромінювання з низькими частотами повторення зондувальних імпульсів, спектри заважаючих відбиттів, займають дуже маленьку зону в частотній області. Вони викликані рухом листів дерев, трави в результаті впливу вітру. Таким чином, спектри заважаючих відбиттів у приймачах наземних РЛС вузькосмугові, вони ефективно режектуються методом чересперіодної компенсації (ЧПАК) [9]. В авіаційних РЛС спектри заважаючих відбиттів, займають більш широку смугу Доплеровських частот, що в 500 – 1000 разів більше ширини спектру заважаючих відбиттів, у наземних РЛС. Якщо в режимі ЧПАК можна отрежекувати тільки вузьку частину спектру заважаючих відбиттів, інша частина широкого спектру заважаючих відбиттів потрапить у фільтрову систему селекції рухомих цілей [9].

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ОБОСНОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НА ИЗЛУЧЕНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ САМОЛЕТОВ ДАЛЬНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ, ЛЕТАЮЩИХ НА ФОНЕ ЗЕМЛИ

Ю.В. Севостьянов, С.М. Каратеев, Л.С. Северин, И.М. Ключишников

Рассматриваются принципы функционирования и режимы работы на излучение авиационных радиолокационных систем с низкой, средней и высокой частотами повторения зондирующих импульсов при наблюдении воздушных объектов в переднюю, заднюю, нижнюю, верхнюю полусферы наблюдения. Предлагаются предложения относительно обоснования режимов работы многофункциональных радиолокационных систем на излучение самолетов далекого радиолокационного наблюдения и обнаружения воздушных целей, которые летят на фоне подстилающей поверхности.

**Ключевые слова:** эффективная поверхность рассеяния, мешающие отражения, подстилающая поверхность, высокая частота повторения, средняя частота повторения, низкая частота повторения, зондирующие импульсы.

### OFFERS CONCERNING THE SUBSTANTIATION OF OPERATING MODES ON RADIATION OF MULTIPURPOSE RADAR-TRACKING SYSTEMS OF PLANES OF DISTANT RADAR-TRACKING DETECTION AND SUPERVISION OF AIR TARGETS WHICH FLY AGAINST THE GROUND

Y.V. Sevostyanov, S.M. Karateev, L.S. Severin, I.M. Klyushnikov

Principles of functioning and operating modes on radiation of aviation radar-tracking systems with low, average and high frequencies of repetition of probing impulses are considered at supervision of air objects in forward, back, bottom, top hemispheres of supervision. Offers concerning a substantiation of operating modes of multipurpose radar-tracking systems on radiation of planes of far radar-tracking supervision and detection of air targets which fly against a spread surface are offered.

**Keywords:** effective surface of dispersion, stirring reflexions, spreading surface, high frequency of repetition, average frequency of repetition, low frequency the repetitions probing impulses.

### Список літератури

1. Бакулев П.А. Методы и устройства селекции движущихся целей / П.А. Бакулев. – М.: Радио и связь, 1986. – 286 с.

2. Дудник П.И. Авиационные радиолокационные устройства: учебник [для слушателей и курсантов инженерных ВУЗов ВВС] / П.И. Дудник, Ю. И. Черессов. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1986. – 524 с.

3. Дудник П.И. Многофункциональные радиолокационные системы / П.И. Дудник, А.Р. Ильчук, Б.Г. Татарский. – М.: Дрофа, 2007. – 282 с.

4. РЛС - информационная основа боевых действий многофункциональных самолётов. Системы и алгоритмы первичной обработки радиолокационных сигналов / [Канащенков А.И., Меркулов В.И., Дудник П.И. и др.]; под ред. А.И. Канащенкова. – М.: Радиотехника, 2006 – 510 с.

5. Оценивание дальности и скорости в радиолокационных системах. Ч.1 / [Меркулов В.И., Канащенков А.И., Саблин В.Н. и др.]; под ред. В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2004. – 304 с.

6. Верба В.С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Состояние и тенденции развития / В.С. Верба. – М.: Радиотехника, 2008. – 432 с.

7. Севостьянов Ю.В. Аналіз існуючих авіаційних бортових радіолокаційних комплексів та особливості їх функціонування / Ю.В. Севостьянов // Системи обробки інформації. – 2007. – № 1(59). – С. 93-96.

8. Севостьянов Ю.В. Підвищення якості виявлення і перехоплення повітряних цілей на основі застосування авіаційних імпульсно-доплерівських АРЛС з двоканальним прийманням ехо-сигналів та поляризаційним роз'язанням / Ю.В. Севостьянов // Озброєння та військова техніка. – 2007. – № 2(10). – С. 100-114.

9. Динамическая режекция воздушных целей, замаскированных коррелированными мешающими отражениями, с применением параметрических систем на нелинейных реактивностях в авиационных радиолокационных прицельных комплексах воздушного базирования: матеріали шостої наукової конференції ["Новітні технології – для захисту повітряного простору"], (Харків, 14 – 15 квіт. 2010 р.) //Х.: Харк. ун-т Повітряних Сил ім. І.М. Кожедуба, 2010. – С. 56.

Надійшла до редколегії 27.04.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.