

УДК 621.396.96.33

Ю.В. Севостьянов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АВІАЦІЙНИХ БОРТОВИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Наданий огляд існуючих авіаційних бортових РЛС літаків- винищувачів четвертого покоління, які стоять на озброєнні авіації Повітряних Сил України в наш час, їх особливості при виконанні поставленої задачі, та пропозиції щодо покращення їх роботи.

авіаційні бортові РЛС, енергія сигналу, літак, хвиля, частота сигналу, повітряна ціль, робочий діапазон частот, швидкість, дальність, кут місця, азимут, частота Доплера

Вступ

Постанова задачі і аналіз літератури. У наш час сучасні ВПС України мають на озброєнні літаки четвертого покоління типу Су-27, Міг-29, та літаки третього покоління типу Су-25, Іл.-76. Ці літальні апарати виконують бойові завдання з перехоплення повітряних цілей супротивника та завоювання лідерства над ними у повітрі (Су-27, Міг-29), нанесення штурмових ударів по надводних (підводних) об'єктах супротивника (штурмовики Су-25), перевезення та десантування у заданий район бойової техніки, військ, вантажів (транспортний Іл.-76). На всіх вище перелічених типах літальних апаратів (окрім Су-25) встановлені радіолокаційні комплекси перехоплення та прицілювання (на літаках Су-27 та Міг-29), а також радіолокаційні комплекси прицілювання та бомбометання (на літаках Іл.-76). Дані радіолокаційні комплекси оснащені потужними обчислювальними системами, системами єдиної індикації (СЄІ), пультами дистанційного керування (ПДК), які полегшують роботу екіпажу при виконанні поставлених завдань.

Структурно радіолокаційні комплекси включають в себе основні блоки, а саме: передавач високочастотних потужних радіоімпульсів, антенний перемикач (на газорозрядних приладах), антена для передавання прийомів (в основному застосовується антена дзеркального типу з рупорним випромінювачем), приймач віддзеркалених сигналів, електронно-обчислювальну машину, пульти керування.

З часом, у розвитку авіації ведеться боротьба за масу та розміри в літакобудуванні з одного боку, але з іншого ведеться боротьба за швидке та якісне виконання авіаційною технікою поставлених завдань. Стосовно радіолокаційних комплексів перехоплення та прицілювання у вимогах до якості виконання поставлених задач, вони повинні забезпечувати найбільш максимальну дальність дії, тим самим забезпечуючи виявлення високошвидкісних цілей супро-

тивника на великих дистанціях, де збільшується час зустрічі з ціллю і тим самим досягається вірогідність точного влучання у ціль ракети від перехоплювача. Чим вище дальність виявлення цілі, тим вище вірогідність того, що дальність свого радіолокаційного комплексу буде вище, ніж дальність дії РЛПК супротивника, тим самим зменшується вірогідність того, що супротивник першим виявить і знищить його.

Дальність дії бортових РЛС суттєво залежить у значній мірі від трьох факторів, а саме: від потужності передавача, [2, 7] чутливості приймача, [4 – 6] ширини діаграми направленості антени, і четвертий фактор, який не залежить від нас, це – канал розповсюдження радіохвиль від радіолокаційного комплексу до цілі і навпаки, та від ефективної поверхні розсіювання (ЕПР) цілі. На четвертий фактор ми вплинути не можемо, але на перші три фактори можемо, і в залежності від думки розробника, буде залежати їх величина.

Окрім цих чотирьох факторів існує й не менш важливий п'ятий фактор, який полягає в обробці прийнятих віддзеркалених від цілі сигналів та прийняття рішення про наявність ними відсутності цілі. Цю задачу виконує бортова цифрова обчислювальна машина (БЦОМ), наскільки правильно і точно БЦОМ проведе операцію обробки сигналів, настільки успішним буде виконання поставленої задачі.

Мета статті. Проаналізувати функціонування авіаційних РЛПК, що знаходяться на озброєнні ВПС України.

1. Структурна побудова РЛПК та принцип виявлення повітряної цілі

Основні фізичні принципи радіолокаційного виявлення полягають у формуванні високочастотного радіосигналу, випромінюванні його антеною у напрямку цілі, прийом антеною віддзеркаленого сигналу, посилення його та подальша обробка. Структурно вище зазначений процес показаний на рис. 1.

На рис. 1 вказано, що РЛПК складається з основних функціональних вузлів, які виконують основні функції. Принцип дії полягає в наступному: передавач формує та посилює ВЧ радіоімпульсу та через антенний перемикач подає на антену. Антенний перемикач (АП) складається із газових розрядників, які підключені паралельно до приймача (рис. 2). В момент проходження ВЧ енергії, радіоімпульси від передавача потрапляють в газорозрядник і „підпалюють” його, внутрішній опір стає мінімальним, і струми ВЧ енергії радіоімпульсу проходять в антену А та випромінюються в простір у вигляді електромагнітних полів. У цьому випадку повинна виконуватись умова: $X_{ПРМ} \gg X_{Л} + X_{А}$, тобто велика потужність випромінювання не потрапила на вхід до приймача та не спалила його [2]. Його внутрішній опір в момент випромінювання енергії ВЧ коливань $X_{ПРМ}$ повинно бути більше за суму внутрішніх опорів лампи - газорозрядника та антени. У момент закінчення випромінювання радіоімпульсу внутрішній опір розрядника різко збільшується $\uparrow X_{Л}$ віддзеркаленого сигналу (малої потужності) дуже значний, то вся енергія віддзеркаленого сигналу піде на приймач [7].

Можна замість газорозрядників ставити хвилеводні трійники з оберненою поляризацією.

Можна об'єднувати хвилеводні мости та газорозрядник. Для кращої надійності вхідні ланцюги радіоприймача блокують імпульси блокування приймача (ІБП), в момент випромінювання радіоімпульсу. Після закінчення останнього ІБП також закінчується, і вхід приймача відкритий для прийняття віддзеркалених від цілі сигналів. В момент надходження віддзеркаленого від цілі імпульсу, останній надходить до приймача, вхідні ланцюги якого заздалегідь налаштовані на спектр частот віддзеркаленого сигналу. Після проходження через вхідні ланцюги, які являють собою набір контурів коливань, сиг-

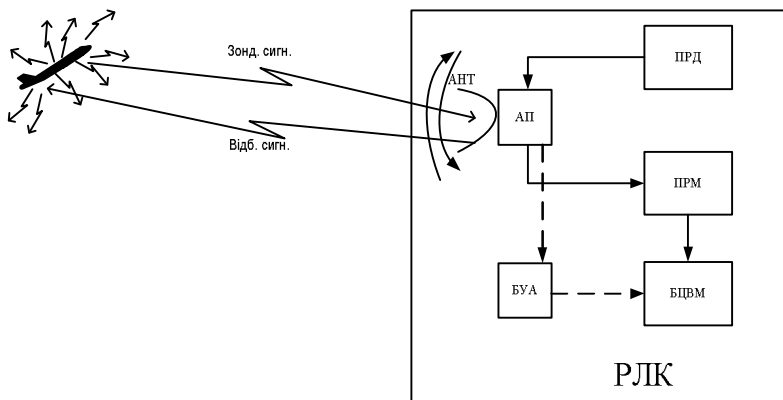


Рис. 1. Структурна побудова РЛПК та принцип виявлення повітряної цілі

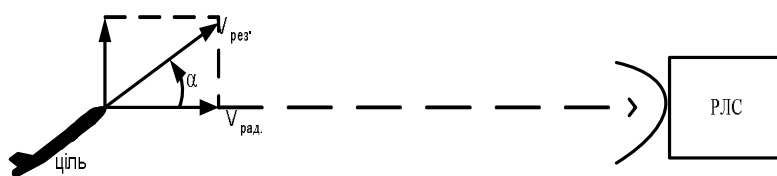


Рис. 2. Виявлення руху повітряної цілі відносно РЛС

нал надходить далі до приймача, де він посилюється, змішується, детектується, тобто перетворюється у форму, зручну для подальшого перетворення [2], [7]. На виході з приймача отримують відео імпульс, наявність якого по відношенню до опорного імпульсу виявляє проходження сигналу від РЛС до цілі, та від цілі до РЛС і визначається умовою:

$$t_{3АП} = 2D / C, \quad (1)$$

де D – відстань від цілі до РЛС; $C = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість розповсюдження світла (радіохвиль) у вакуумі; 2 – подвійна відстань: ціль \rightarrow РЛС, РЛС \rightarrow ціль.

Так само обчислюється швидкість відносно РЛС, радіальна швидкість V_r (рис. 2).

Як було зазначено вище, сучасні радіолокаційні комплекси повинні забезпечувати максимальною кількістю інформації про цілі, а це являє собою наступні параметри цілі відносно РЛК:

- дальність до цілі – $D_{Ц}$;
- швидкість руху цілі – $U_{Ц}$;
- кутові координати α, β (азимут);
- кут в горизонтальній площині між будівельною віссю РЛК та напрямом на ціль та кутом місця;
- кут у вертикальній площині між будівельною віссю РЛК та напрямом на ціль.

Для забезпечення цими даними РЛК, будують імпульсно-доплерівські, тобто в них закладено два метода виміру: імпульсний та Доплерівський.

Імпульсним методом за часом запізнення віддзеркаленого імпульсу від цілі порівняно з опорним вимірюється дальність до цілі, як було зазначено вище за формулою (1).

2. Визначення Доплерівського зсуву частоти

Доплерівським методом [1] вимірюється швидкість наближення (віддалення) з ціллю за формулою

$$F_D = \frac{2 \cdot v_r}{\lambda} = \frac{2 \cdot v_{Ц} \cdot \cos \alpha}{\lambda}, \quad (2)$$

де F_D – Доплерівська частота (зсув частоти) між частотою зондуючого сигналу f_z і частотою віддзеркаленого сигналу $f_{віддз}$; U_r – радіанна швидкість руху цілі відносно РЛС; λ – довжини хвиль випромінюючого зондуючого сигналу; α – кут між вектором швидкості руху цілі та радіанної складової швидкості цілі.

Справа в тому, що РЛК „реагує” тільки на ті складові швидкості руху цілі, які дають

Частота, як функція, обернена до часу, збільшиться:

$$F = 1 / T. \quad (3)$$

Часовий зсув буде в даному випадку зменшуватися за формулою $\Delta t = (S_n - S_{n-1}) / U_{Л.А.}$, тобто чим більша швидкість літального апарату, тим швидше він пройде відстань (за

мінімальний час Δt) від S_n до S_{n-1} . Зв'язок між довжиною хвилі і частотою коливань, між періодом випромінювання та частотою коливань, між часом, швидкістю та відстанню визначається за формулами:

$$\lambda = C / f; \quad (4) \quad f = 1/T_{\Pi}; \quad (5)$$

$$v = S / T; \quad (6) \quad T_{\Pi} = \lambda / C, \quad (7)$$

де λ – довжина хвилі випромінювання ВЧ-коливання; f – частота випромінювання ВЧ-коливання; U – швидкість руху (тіла); T_{Π} – період випромінювання ВЧ-коливання; t – час (універсальна скалярна величина); S – відстань (універсальна векторна величина); $C = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість розповсюдження світла.

З вищезазначених фізичних процесів виникнення та протікання ефекту Доплера слідує два моменти при вимірюванні швидкостей руху цілі, коли швидкості цілі зближення з РЛС незначні: $U_{ц} \approx 0$ м/с, то РЛС не може виявити ціль взагалі, не кажучи вже про вимірювання швидкості завдяки незначному зсуву частоти за Допплером. Другий момент виникає тоді, коли швидкості цілей дуже великі, тоді, відповідно, часовий зсув за Допплером дуже значний і може вийти за межу смуги пропускання приймача [3, 5]. В цьому випадку також ціль виявленою не буде.

3. Допустимі спроможності РЛК

Оскільки РЛС працюють на одну антену, то працюють вони в імпульсному режимі, як було зазначено вище. Допустима спроможність буде залежати від тривалості імпульсу як за дальністю, так і за швидкістю:

$$\delta D = C \cdot \tau_u / 2; \quad (8)$$

$$\delta v = \lambda / (2 \cdot \tau_u); \quad (9)$$

$$2\Delta\Theta = \delta\Theta. \quad (10)$$

За кутовими координатами допустима спроможність $\delta\Theta$ залежить від ширини діаграми спрямування антени: чим вужче ширина ДНА, тим точніше $\delta\Theta$.

Дамо основні поняття та визначення фізичних

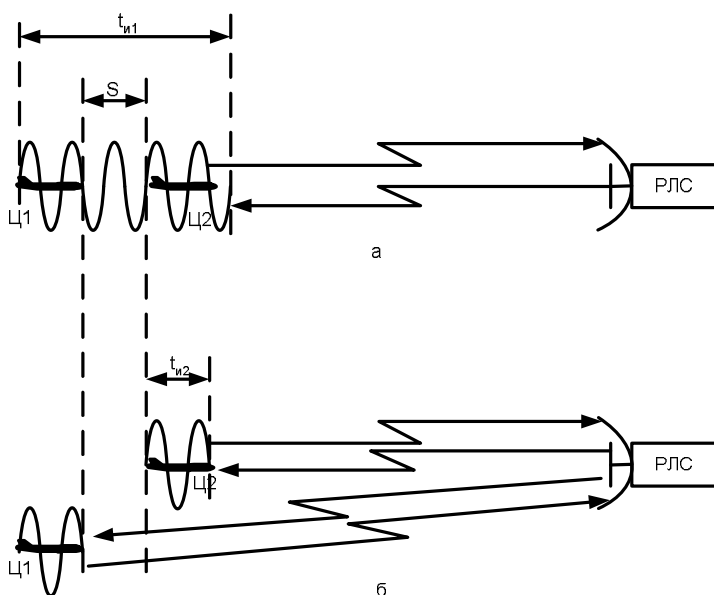


Рис. 3. Залежність допустимої здатності від тривалості імпульсу РЛК

величин, які застосовуються у радіотехніці (радіолокації). Розглянемо фізичний принцип допустимої здатності за дальністю на рис. 3. Припустимо, що рухаються дві цілі під ракурсом, наближеним до $4/4$ на віддаленні S один від одного (рис. 3, а). Припустимо, що РЛК випромінює імпульси з тривалістю τ_{u1} , коли буде прийнятий віддзеркалений імпульс від цілей Π_1 та Π_2 , та буде здійснена відповідна обробка імпульсу, то на екрані індикатора РЛК оператор буде спостерігати дві цілі як одну [3].

Другий випадок (рис. 3, б) – також дві цілі, які віддалені одна від одної на відстань S та які мають ті ж самі кутові координати на тій же дальності, але тривалість τ_u зменшиться до $\tau_{u2} \ll \tau_{u1}$, то віддзеркалений імпульс, який надійшов, після відповідної обробки на екрані індикатора оператор буде спостерігати цілі окремо (рис. 3, б). З рисунку видно, що цілі потрапляють у межі імпульсу, та віддзеркалений імпульс несе інформацію про обидві цілі одночасно (рис. 3, а) та окремо (рис. 3, б). Тому, для окремого спостереження цілей необхідно, щоб тривалість імпульсу РЛК була в імпульсному об'ємі набагато менше, ніж дистанція між двома цілями, тобто виконання умови:

$$S \gg C \cdot \tau_u / 2. \quad (11)$$

Зовсім інша картина спостерігається у вимірюванні швидкості. З формули (10) видно, що чим більшою буде довжина хвилі λ зондуючого випромінювання, тим меншою буде тривалість імпульсу. Також буде поганою за швидкістю допустима здатність. З рис. 3 видно, що коли обидві цілі знаходяться в одному імпульсному об'ємі, то вони модулюють одночасно за Допплерівським зсувом один і той самий імпульс тільки у різних частинах імпульсу, на прийомній стороні, що приймає цей імпульс обробляється безперервно по всій тривалості та реєструє зміни за частотою за всією тривалістю. Чим більше τ_u , тим по більшій довжині імпульсу „внесуть” цілі Допплерівський зсув, тим легше і достовірніше буде відфільтрований імпульс і тим точніше вимірюється Допплерівський зсув. За кутовими координатами допустима здатність, як зазначалося вище, залежить від ширини діаграми направленості антени, і чим вона вужче, тим кращою буде допустима здатність (рис. 4). Але для отримання більш вузької ДНА потрібні більші за розміром антени, що в авіації обмежені масою та габаритами.

4. Режими випромінювання РЛК

Робота бортових РЛК на випромінювання ґрунтується на чергуванні двох, або більш частот повтору зондуючих імпульсів (в основному три). Чергування частот в бортових РЛК потрібне для боротьби з „сліпими” швидкостями, які з'являються на одній фіксованій частоті повторення через nF_n разів.

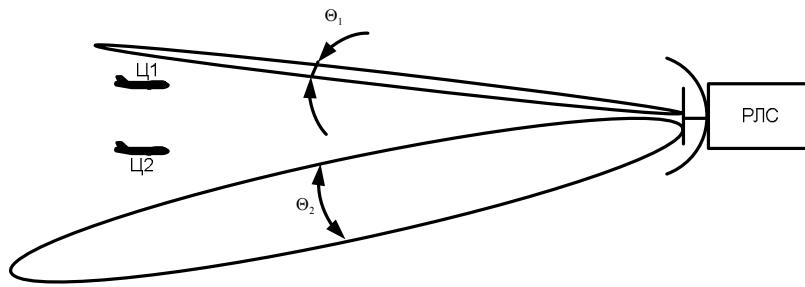
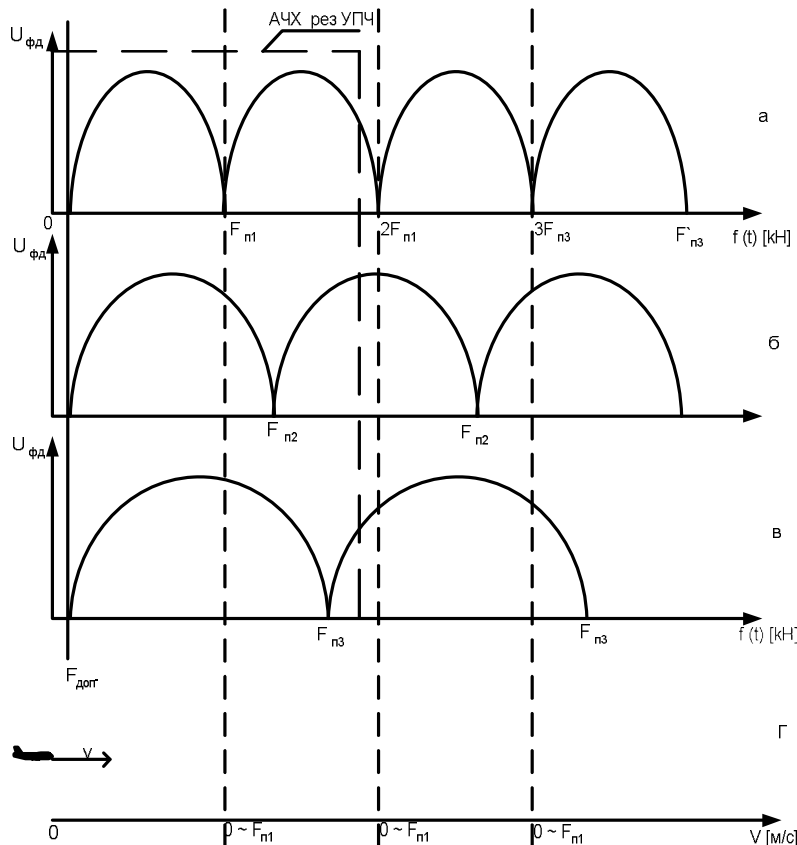


Рис. 4. Залежність допустимої здатності від ширини діаграми направленості антени

Рис. 5. Вибір частоти повторення для усунення „сліпих” швидкостей, кратних „nF_n”

На рис. 5, а показано, як змінюється напруга на виході фазового детектора приймача імпульсно-доплерівського РЛК від зміни частоти повторення та (або) швидкості руху літака, РЛК в даному випадку працює на одній фіксованій частоті повторення імпульсів F_{n1} . На графіку ми бачимо, що АЧХ фазового детектора має „провали” в точках F_{n1} , $2F_{n1}$, $3F_{n1}$, і так далі, тобто nF_{n1} . Якщо ціль потраплятиме в ці точки, то вона виявленою РЛК не буде. Для боротьби із швидкостями, які лежать в точках nF_{n1} застосовують ще дві частоти повторення (в нашому випадку), які „перекривають” „провали” одна у другій. На рис. 5 показано, що частота $F_{n2} > F_{n1}$, „перекриває” „провал” частоти F_{n1} , а частота $F_{n3} > F_{n2}$, „перекриває” „провал” частоти F_{n2} . Але частоти F_{n3} F_{n2} повинні обиратись так, щоб їх „провали” не перехрещувались між собою і з „провалами” частоти

F_{n1} . РЛК спочатку виявляє ціль на частоті F_{n1} , якщо на цій частоті ціль попаде в „провал”, то на частоті F_{n2} вона буде виявлена (або на частоті F_{n3} і навпаки). Але є такі провали, де ніяким перебиранням частот повторення ціль виявити не можливо. Це „провали”, на яких швидкість дає доплерівський зсув частоти, дорівнює нулю (за формулою (2)). На рис. 5, а-в показана околиця нуля [3, 6].

Висновки

Були розглянуті основні фізичні властивості радіолокаційних комплексів, які застосовуються в авіації як у повітряних силах, так і у цивільній авіації. Вони надають суттєву допомогу екіпажам повітряних суден здійснювати виконання поставлених завдань, але є і недоліки, які істотно впливають на виконання поставлених завдань, з якими потрібно боротись шляхом оптимізації параметрів сигналів в авіаційних імпульсно-доплерівських РЛК та застосування алгоритмів повздовжнього синтезу апертури.

Список літератури

1. Бакулев П.А., Стенин В.М. Методы и устройства селекции движущихся целей. – М.: Радио и связь, 1986. – 287 с.
2. Голушов Ю.В. Авиационные радиопередающие устройства. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1990. – 210 с.
3. Дудник П.И., Чересов Ю.И. Авиационные радиолокационные устройства. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1986. – 533 с.
4. Зубарев А.И. Авиационные радиоприемные устройства. Ч. 1: Учебное пособие. – Х.: ХВВАУРЭ им. Ленинского Комсомола Украины, 1991. – 76 с.
5. Зубарев А.И. Авиационные радиоприемные устройства. Часть 2: Учебное пособие. – Х.: ХВВАУРЭ им. Ленинского Комсомола Украины, 1991. – 136 с.
6. Зубарев А.И. Радиоприемные устройства. Часть 3: Учебное пособие. – Х.: ХИЛВВС Украины, 1996. – 72 с.
7. Куля Б.М. Авиационные радиопередающие устройства. – К.: КВВАИУ им. Ленинского Комсомола Украины, 1987. – 487 с.

Надійшла до редколегії 22.12.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.К. Волосюк, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків.