

УДК 621.396

В.Й. Климченко, Г.Г. Камалтинов, В.Л. Місайлов

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків***АНАЛІЗ ПОТЕНЦІЙНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ОГЛЯДОВИХ РЛС САНТИМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ХВИЛЬ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДІЙ АВІАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ**

Розглядаються можливості використання оглядових РЛС сантиметрового діапазону хвиль, які перебувають на озброєнні радіотехнічних військ, для ведення метеорологічної розвідки з метою забезпечення авіації Повітряних Сил Збройних Сил України метеорологічною інформацією. Аналізуються потенційні та реальні можливості означеного класу радіолокаційних засобів щодо ведення радіолокаційної розвідки погодних явищ. Розглядаються можливі напрямки модернізації оглядових РЛС сантиметрового діапазону хвиль як засобів метеорологічної розвідки.

Ключові слова: радіолокаційні засоби, метеорологічна розвідка, метеорологічна інформація

Загальна характеристика РЛС РТВ як засобів метеорологічної розвідки

Отримання своєчасної і достовірної метеорологічної інформації для забезпечення бойової та навчально-бойової підготовки авіаційних частин є одним з основних завдань метеорологічного забезпечення, яке є видом оперативного (бойового) забезпечення дій авіації Збройних Сил України. Повне використання метеорологічних умов є основою для ефективного застосування авіації та безпеки польотів.

Забезпечення авіації Повітряних Сил Збройних Сил України метеоінформацією в районах та на маршрутах польотів здійснюється, в основному, радіолокаційною розвідкою погоди, і основним джерелом метеоданих залишаються радіолокаційні засоби. Для ведення радіолокаційної розвідки погоди залучаються спеціальні метеорологічні локатори (МРЛ) та штатні аеродромні засоби радіолокації.

Існуючі некогерентні метеорологічні радіолокатори (МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5) на сьогодні вже перестають задовольняти постійно зростаючим вимогам до якості метеорологічної інформації. До того ж вони виробили свій ресурс, і на озброєнні залишилось лише кілька одиниць. Найбільш ефективні результати дають сучасні МРЛ, які в Україні на сьогодні не виробляються і не розробляються. Закупівля таких МРЛ для Збройних Сил України за кордоном на даний час не планується через їхню надмірну вартість.

На теперішній час в Повітряних Сил Збройних Сил України залишився фактично єдиний засіб радіолокаційної розвідки погоди - це штатні аеродромні засоби радіолокації, якими є диспетчерські радіолокатори зі складу систем посадки РСР-6(7,8,10,11) та оглядова РЛС П-37. Інформація, яку дають штатні аеродромні РЛС, має обмежений характер. Це обумовлено низькою інформативністю і якістю (вірогідністю) метеоінформації. Параметри метеоявищ визна-

чаються візуальним способом по зовнішньому вигляду відбиттів від метеоутворень (яскравості їхнього світіння і площі), що спостерігаються на індикаторах РЛС. Це значно ускладнює, а в деяких випадках унеможливує виконання ряду вимог до системи метеорологічного забезпечення авіації (високої оперативності, безперервності, адаптивності).

Отже, на сьогодні можливості з отримання метеорологічної інформації у Повітряних Силах суттєво обмежені.

Між тим, в радіотехнічних військах (РТВ) існує ціла низка оглядових і спеціальних РЛС, які ведуть розвідку повітряного противника і водночас мають потенційні можливості здійснювати розвідку погоди. Такими РЛС є усі оглядові РЛС сантиметрового діапазону хвиль: 79К6, 35Д6М, 35Д6, 19Ж6, П-37 та пересувні радіолокаційні висотоміри (ПРВ): ПРВ-13, ПРВ-16, ПРВ-17. Означені засоби розгорнуті на позиціях в усіх підрозділах РТВ рівномірно по всій території України.

Але парадокс ситуації полягає в тому, що в означених РЛС і ПРВ первісно, тобто ще при їх проектуванні та розробленні, відбиття від метеоутворень вважались завадами, які необхідно всіляко придушувати. Тому вся обробка прийнятих ехосигналів в означених РЛС і ПРВ, а в деяких з них (П-37 та ПРВ-17) навіть формування зондувальних сигналів здійснюється так, щоб відбиття від метеоутворень були мінімальними. І якщо в "аналогових" РЛС старого парку (П-37, ПРВ-13, ПРВ-16, ПРВ-17) ще існує такий режим роботи, як "амплітудний", при якому на індикаторі РЛС чи ПРВ може відобразитись реальна первинна картина відбиттів зондувальних сигналів від неоднорідностей в атмосфері (в тому числі й від метеоутворень) то в сучасних "цифрових" РЛС 79К6, 35Д6М, 35Д6, 19Ж6 і такої можливості вже немає. Наявність же в означених РЛС спеціального каналу виявлення завад, який у техніч-

них описах заявляється як метеоканал, таким може вважатися лише умовно.

Отже, існуючі в РТВ РЛС сантиметрового діапазону хвиль можуть в цілому розглядатися лише як потенційні джерела метеоінформації, хоча такі радіолокаційні засоби як П-37, ПРВ-13, ПРВ-16 та ПРВ-17 вже й сьогодні можуть обмежено використовуватися (П-37 і використовується) для радіолокаційної розвідки погоди. Для того, щоб повністю реалізувати потенційні можливості усіх означених радіолокаторів з метеорологічної розвідки, їхня апаратура має бути дороблена шляхом введення одного або кількох спеціальних приймальних каналів (метеоканалів), які були б орієнтовані на обробку відбиттів від метеоутворень, як корисних сигналів, а не на придушення їх, як завад. Але навіть і в цьому випадку можливості з метеорологічної розвідки оглядових РЛС будуть значно поступатися можливостям спеціалізованих метеорологічних радіолокаторів. Принципова відмінність полягає в різних темпах огляду простору і в різних значеннях часу контакту радіолокатора з ціллю. Для оглядових РЛС РТВ період огляду простору має становити не більше 5-10 с, а час опромінення цілей при цьому не перевищує 50-100 мс, тоді як для МРЛ ці величини можуть бути збільшені в десятки разів.

Введення метеоканалу до складу апаратури висотомірів ПРВ-13, ПРВ-16 та ПРВ-17 може бути набагато ефективнішим ніж оснащення такими каналами оглядових РЛС. Особливо вирашним в цьому плані є висотомір ПРВ-17, який має багато режимів огляду простору (навіть установлення антени під довільним азимутом і будь-яким кутом місця в межах зони огляду) і може випромінювати та приймати сигнали довільної поляризації.

Таким чином, очевидно, що потенційні можливості щодо метеорологічної розвідки для кожного типу РЛС є і будуть різними залежно від основного призначення РЛС, їхніх тактико-технічних характеристик (ТТХ) та оснащення чи неоснащення їх спеціальними метеоканалами. Тому й розглядати потенційні можливості кожного типу РЛС щодо метеорологічної розвідки необхідно окремо за умови відсутності в ньому спеціального метеорологічного каналу і за умови його наявності.

Аналіз можливостей РЛС щодо метеорологічної розвідки за відсутності в ній метеорологічного каналу особливих труднощів не викликає і полягає, в основному, в аналізі ТТХ РЛС стосовно виявлення не точкових цілей, якими є літальні апарати, а просторових та об'ємних, якими є метеоутворення.

Аналіз же можливостей РЛС щодо метеорологічної розвідки за умови вбудовування в неї метеорологічного каналу має здійснюватися з урахуванням тенденцій розвитку метеорадіолокації та можливостей реалізації тих чи інших тенденцій в кожному конкретному типі РЛС.

Основною тенденцією світового розвитку МРЛ є перехід від некогерентних МРЛ до доплерівських

(когерентних) МРЛ (ДМРЛ), здатних оцінювати швидкість гідрометеорів і ступінь турбулентності метеоутворень, що істотним чином підвищує як безпеку польотів, так і економічний ефект прогнозу [1 – 5].

Не менш важливою тенденцією розвитку світової метеорадіолокації є використання методів поляризаційної селекції для отримання додаткової інформації про метеорологічні об'єкти (фазовий стан та інтенсивність метеоутворення, переважна орієнтація частинок гідрометеорів) [6].

В цілому можна сподіватися, що в найближчі роки теоретичні розробки доплерівських і поляриметричних методів виявлення і аналізу небезпечних метеорологічних явищ знайдуть широке застосування в практиці метеорадіолокації.

До небезпечних метеорологічних явищ для авіації у районі аеродромів, полігонів і на маршрутах польотів у відповідності до Положення про гідрометеорологічну службу Збройних Сил України (ПГМС-2002) відносяться:

- потужна купчаста і купчасто-дощова хмарність, гроза, град, які не можна обминути;
- обмерзання повітряних суден;
- сильна турбулентність повітря (бовтанка);
- закриття хмарами або опадами вершин гір, сопок, а також штучних споруд (щогл, труб, телевізійних веж, тощо), що перешкоджають виконанню завдання.

Отже, радіолокаційна станція, як засіб метеорологічної розвідки в інтересах забезпечення дій авіації Повітряних Сил ЗС України метеорологічною інформацією, має перш за все виконувати такі основні функції:

- виявляти і розрізняти такі метеорологічні явища, як потужні купчасті хмари, купчасто-дощові хмари та грозу;
- визначати їхні просторові розміри та висоту;
- визначати характер опадів (дощ, сніг, град) та їхню інтенсивність;
- визначати параметри руху метеоутворень (швидкість, турбулентність).

Саме за здатністю виконання означених функцій і необхідно здійснювати аналіз можливостей радіолокаційних станцій, які перебувають на озброєнні РТВ.

Можливості з виявлення та розрізнення метеорологічних явищ

При визначенні дальності виявлення метеорологічних явищ необхідно враховувати, що основне призначення усіх РЛС РТВ полягає в розвідці повітряного противника шляхом періодичного огляду простору і саме в такому режимі вони й будуть працювати.

Особливістю ж обробки сигналів при локації метеоутворень є те, що дальність їхнього виявлення визначається за умов обробки поодиноких імпульсів без накопичення пачки. При цьому формула для

визначення максимальної дальності виявлення буде мати такий вигляд [7]:

$$r = \sqrt[4]{\frac{P_i B G_{\text{пер}} G_{\text{пр}} \lambda^2 \sigma_{\text{ц}}}{(4\pi)^3 v_{\text{п}} \eta_{\text{втр}} k T \Delta_F}} \quad (1)$$

де P_i – імпульсна потужність передавача; $B = \tau_i \Pi_{\text{еф}}$ – база зондувального сигналу; τ_i – тривалість зондувального сигналу; $\Pi_{\text{еф}}$ – ефективна ширина спектра зондувального сигналу (для "гладкого" зондувального імпульсу $B=1$); $G_{\text{пер}}$ – коефіцієнт підсилення сигналів передавальною антеною; $G_{\text{пр}}$ – коефіцієнт підсилення сигналів приймальною антеною; λ – довжина хвилі електромагнітного випромінювання; $\sigma_{\text{ц}}$ – ефективна відбивна поверхня цілі; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/град – стала Больцмана; T – температура в градусах Кельвіна; Δ_F – коефіцієнт шуму приймального пристрою; $v_{\text{п}}$ – величина порогу виявлення; $\eta_{\text{втр}} = \eta_{\text{пер}} + \eta_{\text{пош}} + \eta_{\text{пр}} + \eta_{\text{обр}}$ – узагальнений коефіцієнт втрат сигналів у передавальному ($\eta_{\text{пер}}$) та приймальному ($\eta_{\text{пр}}$) фідерних трактах, при поширенні в просторі ($\eta_{\text{пош}}$) та при їхньому обробленні ($\eta_{\text{обр}}$); Δ_F – смуга пропускання приймального тракту.

Метеорологічні цілі за природою свого походження відносяться до об'ємно розподілених цілей і являють собою просторово розподілену безліч елементарних відбивачів у вигляді крапельок дощу, крижаних утворень або сніжинок. Ефективна відбивна поверхня таких цілей визначається як [7]:

$$\sigma_{\text{ц}} = a \cdot V_i \cdot \sigma_0 \quad (2)$$

де V_i – імпульсний об'єм РЛС; σ_0 – питома відбивна здатність (відбивна здатність одиниці об'єму, в якому розташовані елементарні відбивачі); a – коефіцієнт заповнення імпульсного об'єму РЛС метеоутворенням.

Усі РЛС сантиметрового діапазону, які перебувають на озброєнні РТВ, мають високу просторову вибірковість, і їхній імпульсний об'єм ϵ , як правило, набагато меншим за просторові розміри метеоутворень. Тому для РЛС РТВ можна вважати, що імпульсний об'єм повністю заповнений метеоутвореннями, і коефіцієнт $a=1$. Величина імпульсного об'єму для РЛС з ефективною шириною спектра зондувального сигналу $\Pi_{\text{еф}}$ визначається співвідношенням:

$$V_0 = \frac{\pi c \Delta_{\beta} \Delta_{\epsilon}}{8 \Pi_{\text{еф}}} r^2 \quad (3)$$

де c – швидкість поширення світла; Δ_{β} , Δ_{ϵ} – ширина променя на рівні половинної потужності в горизонтальній і вертикальній площині відповідно; r – дальність до метеоутворення.

Питома відбивна здатність σ_0 визначається [7], як сума відбивних поверхонь усіх елементарних метеочастинок, які є в 1 м^3 повітря:

$$\sigma_0 = \sum_{i=1}^N \sigma_{\text{метео}i} = N \bar{\sigma}_{\text{метео}} \cdot \left[\text{м}^2 / \text{м}^3 \right] \quad (4)$$

де $\sigma_{\text{метео}i}$ – відбивна поверхня i -тої елементарної метеочастинок; $\bar{\sigma}_{\text{метео}}$ – усереднене значення відбивної поверхні елементарної метеочастинок; N – кількість елементарних метеочастинок в 1 м^3 повітря.

Кожну метеочастинку можна розглядати як сферу, діаметр якої є набагато меншим за довжину електромагнітної хвилі $d \ll \lambda$ (дощові краплі мають діаметр від 0,01 до 0,6 см, а розміри частинок хмар та туману менше, ніж 0,01 см). В діапазоні хвиль 3-23 см відбивна поверхня такої метеочастинок визначається [7] таким чином:

$$\sigma_{\text{метео}i} = 0,93 \pi^5 \frac{d_i^6}{\lambda^4} \quad (5)$$

де d_i – діаметр i -ої елементарної метеочастинок.

Тоді питома відбивна здатність σ_0 може бути визначена, як:

$$\sigma_0 = 0,93 \pi^5 \sum_{i=1}^N \frac{d_i^6}{\lambda^4} = \frac{0,93 \pi^5}{\lambda^4} \sum_{i=1}^N d_i^6 \quad (6)$$

або
$$\sigma_0 = \frac{0,93 \pi^5}{\lambda^4} Z \quad (7)$$

де $Z = \sum_{i=1}^N d_i^6$.

Величина Z не залежить від параметрів опромінюючого електромагнітного поля, а виражає лише властивості метеоутворення і в метеорології має назву множника відбивної здатності. Оскільки в метеорології прийнято вимірювати діаметр метеочастинок в міліметрах, то величина Z має розмірність $[\text{мм}^6 / \text{м}^3]$. З такою розмірністю множник відбивної здатності наводиться в усіх метеорологічних довідниках.

В радіолокації прийнято відбивну поверхню вимірювати в $[\text{м}^2]$, а питому відбивну здатність σ_0 в $[\text{м}^2 / \text{м}^3]$. Тому остаточний вираз для розрахунку величини σ_0 набуде такого вигляду:

$$\sigma_0 = \frac{0,93 \pi^5}{\lambda^4} Z \cdot 10^{-18} \quad (8)$$

Тоді ефективна відбивна поверхня (2) метеоцілі з урахуванням (3) і (8) буде визначатися таким чином

$$\sigma_{\text{ц}} = \frac{c \Delta_{\beta} \Delta_{\epsilon} 0,93 \pi^6 Z 10^{-18}}{8 \lambda^4 \Pi_{\text{еф}}} r^2 \quad (9)$$

Підставивши у формулу (1) вираз (9) отримаємо остаточне рівняння для визначення дальності виявлення метеоутворень оглядовими РЛС:

$$r = \sqrt{\frac{P_i G_{\text{пер}} G_{\text{пр}} c \Delta\beta \Delta\epsilon 0,93\pi^6 Z 10^{-18}}{8\Pi_{\text{эф}} \lambda^2 (4\pi)^3 v_{\text{п}} \eta_{\text{втр}} k T \Delta F}} \quad (10)$$

З урахуванням усіх констант у виразі (10), розрахункова формула набуде вигляду:

$$r = 1,1 \sqrt{\frac{P_i G_{\text{пер}} G_{\text{пр}} \Delta\beta \Delta\epsilon Z}{\lambda^2 v_{\text{п}} \eta_{\text{втр}} T \Delta F \Pi_{\text{эф}}}} \cdot 10^6, \text{ [м]} \quad (11)$$

Відбивна здатність різноманітних метеоутворень наведена в таблиці 1 [8]. З усіх метеоутворень найбільш небезпечними для авіації Повітряних Сил Збройних Сил України, як уже зазначалось, є потужна купчаста і купчасто-дощова хмарність, а також грозові утворення. Саме для означених видів метеоутворень і розраховувалась дальність їхнього виявлення оглядовими РЛС РТВ. Величина порогу виявлення $v_{\text{п}}$ при ймовірності правильного виявлення 0,8 і ймовірності хибних тривог 10^{-5} - 10^{-6} становить приблизно 16-20 дБ. Узагальнений коефіцієнт втрат $\eta_{\text{втр}}$ для більшості РЛС РТВ становить від 17 до 24 дБ. Результати розрахунків дальності виявлення метеоутворень зведені в табл. 2 і 3.

Аналіз результатів розрахунку свідчить про те, що усі РЛС сантиметрового діапазону, які перебувають на озброєнні РТВ, здатні за своїм енергетичним

потенціалом виявляти небезпечні для авіації Повітряних Сил Збройних Сил України види метеорологічних явищ на усіх висотах і на дальностях, які є сумірними з відстанню між позиціями, де вони розгорнуті, і не поступаються за дальністю виявлення сучасним спеціалізованим метеолокаторам (табл. 4). Але на сьогодні реально можуть виявляти метеорологічні явища лише радіолокаційні засоби з аналоговою обробкою сигналів, тобто оглядова РЛС П-37 та висотоміри ПРВ-13, ПРВ-16 та ПРВ-17. Радіолокаційні станції з цифровою обробкою сигналів (19Ж6, 35Д6, 35Д6М, 79К6) позбавлені такої можливості і можуть вирішувати означене завдання лише після оснащення їх спеціальними метеоканалами.

Таблиця 1

Розподіл відбивної здатності хмар різних форм

| | Форма хмар | | | | |
|---|-------------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| | Шарувато-купчасті | Потужні купчасті | Шарувато-дощові | Купчасто-дощові | Купчасто-дощові з грозою |
| Математичне очікування відбивної здатності Z, мм ⁶ /м ³ | 17,6 | 55,2 | 350,7 | 2432,2 | 19234 |

Таблиця 2

Можливості оглядових РЛС РТВ з метеорологічної розвідки

| Можливості з метеорологічної розвідки та технічні параметри РЛС | П-37 | | 35Д6 (19Ж6) | | 35Д6М | | 79К6 | |
|--|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| | Без метеоканалу | 3 метеоканалом | Без метеоканалу | 3 метеоканалом | Без метеоканалу | 3 метеоканалом | Без метеоканалу | 3 метеоканалом |
| 1. Зона виявлення метеоутворень: | | | | | | | | |
| дальність виявлення, км: | | | | | | | | |
| потужних купчастих хмар | 12-15 | 12-15 | 10 | 10 | 10-15 | 10-15 | 12-15 | 12-15 |
| шарувато-дощових хмар | 35-45 | 35-45 | 25-30 | 25-30 | 25-30 | 25-30 | 25-30 | 25-30 |
| купчасто-дощових хмар | 100-110 | 100-110 | 65-70 | 65-70 | 65-75 | 65-75 | 70-80 | 70-80 |
| грозових утворень | 280-295 | 280-295 | 185-195 | 185-195 | 190-200 | 190-200 | 190-200 | 190-200 |
| максимальна висота виявлення метеоутворень, км | 16-18 | 16-18 | 20 | 20 | 20 | 20 | 30 | 30 |
| максимальний кут місця зони виявлення, град | 28 | 28 | 30 | 30 | - | 30 | - | 35 |
| Можливості з розпізнавання типу метеоутворення | - | + | - | + | - | + | - | - |
| Можливості з вимірювання швидкості та турбулентності метеоутворень | - | + | - | + | - | + | - | + |
| Можливості з визначення характеру опадів та їхньої інтенсивності | - | - | - | + | - | + | - | - |
| Точність вимірювання координат: | | | | | | | | |
| σ_r , м | 380 | 380 | 250 | 250 | 250 | 250 | 100 | 100 |
| σ_β , мінут | 38 | 38 | 20 | 20 | 20 | 20 | 15 | 15 |
| σ_H , м | - | 800 | 400 | 400 | 400 | 400 | 150-200 | 150-200 |
| σ_v , м/с | - | 5-10 | 5-10 | 5-10 | 5-10 | 5-10 | 5-10 | 5-10 |
| Розрізнявальна здатність: | | | | | | | | |
| Δr , км | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,5 |
| $\Delta\beta$, град | 1 | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1°45' | 1°45' |
| $\Delta\epsilon$, град | - | - | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 2,2 | 2,2 |
| 7. Коэф. придуш. місц. предм., дБ | 20 | 20 | 40 | 40 | 40 | 40 | 30 | 30 |

Можливості з метеорологічної розвідки радіолокаційних висотомірів

| ТТХ та технічні параметри РЛВ | ПРВ-13 | | ПРВ-16 | | ПРВ-17 | |
|--|-------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | Без метео-каналу | З метео-каналом | Без метео-каналу | З метео-каналом | Без метео-каналу | З метео-каналом |
| 1. Зона виявлення метеоутворень | | | | | | |
| дальність виявлення в км : | | | | | | |
| потужних купчастих хмар | 20-25 | 20-25 | 25-30 | 25-30 | 40 | 40 |
| шарувато-дощових хмар | 55-60 | 55-60 | 55-60 | 55-60 | 100 | 100 |
| купчасто-дощових хмар | 150-155 | 150-155 | 180-185 | 180-185 | 260-270 | 260-270 |
| грозових утворень | В межах прямої радіовидимості | | | | | |
| максимальна висота виявлення метеоутворень, км | Без обм. | Без обм. | Без обм. | Без обм. | Без обм. | Без обм. |
| максимальний кут місця зони виявлення, град | 30 | 30 | 22 | 22 | 45 | 45 |
| 2. Можливості з розпізнавання типу метеоутворення | - | + | - | + | - | + |
| Можливості з вимірювання швидкості та турбулентності метеоутворень | - | + | - | + | - | + |
| Можливості з визначення характеру опадів та їхньої інтенсивності | - | - | - | - | - | + |
| 5. Точність вимірювання координат: | | | | | | |
| σ_r , м | 1000 | 400 | 770 | 400 | 1000 | 400 |
| σ_β , град | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| σ_H , м | 230-380 | 230-380 | 70-150 | 70-150 | 230-380 | 230-380 |
| σ_V , м/с | - | 5-10 | - | 5-10 | - | 1 |
| 6. Розрізнявальна здатність: | | | | | | |
| $\Delta\alpha$, км | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 |
| $\Delta\beta$, град | 2,5 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 2,5 | 2,5 |
| $\Delta\epsilon$, град | 1,1 | 1,1 | 0,5 | 0,5 | 1,1 | 1,1 |
| 7. Коеф. придуш. місц. предм., дБ | 18 | 20 | 16 | 20 | 30 | 30 |

Таблиця 4.

Основні параметри найпоширеніших метеорадіолокаторів

| Параметри | | МРЛ-5 СРСР 1980 р. | | WSR-88D США 1980 р. | | МETEOR 500С Німеччина 1990 р. | DSWR-2500 Велико- британія 1990 р. |
|--|-------------------|--------------------------|---------|---------------------------|-----|--|---|
| | | Канал 1 | Канал 2 | | | | |
| Робочий радіус у режимі: | інтенсивність, км | 300 | 300 | 450 | 450 | 500 | 480 |
| | швидкість, км | | | 120 | 120 | 125 | 120 |
| 2. Діапазон по куту місця, град | | -2..90 | -2..90 | | | -3..180 | -2..90 |
| 3. Однозначно вимірювана доплерівська швидкість, м/с | | Не визначає | | 50 | 32 | 48 | 16 |
| 4. Розрізнення: | кутове, град | 0,3 | 1 | 1 | | ≤1 | 0,1 |
| | по дальності, м | 100 | 200 | 250 | | 125 | |
| Середньоквадратична похибка виміру: | інтенсивності, дБ | | | 1 | | 1 | 1 |
| | швидкості, м/с | | | 1 | | 1 | 1 |
| Темп огляду у режимі: | інтенсивність | | | | | 1-36 град/с | |
| | швидкість | | | | | 1-36 град/с | |
| 7. Придушення місцевих предметів, дБ | | | | | | >45 | >50 |

Розрізнення типів метеоутворень існуючими РЛС можливе лише приблизно, в дуже грубій формі шляхом аналізу інтенсивності відбиттів по якравості засвітлення, яке створюють відбиття від хмар на індикаторі РЛС, або шляхом вимірювання амплітуди відбитих сигналів в тих РЛС, в яких передбачено осцилографічний контроль виходу приймального тракту. За умови обладнання РЛС спеціальними метеоканалами такі можливості будуть суттєво розширені за рахунок досконалих вимірювань потужності відбитих сигналів та калібрування вимірювальних трактів.

Можливості з визначення координат та просторових розмірів метеоутворень

Можливості РЛС РТВ з визначення координат та просторових розмірів метеоутворень визначаються такими характеристиками РЛС, як кількість вимірюваних координат, точність їхнього вимірювання, роздільна здатність, розміри і форма зони огляду простору. Щодо кількості вимірюваних координат, то усі радіолокаційні засоби сантиметрового діапазону, які перебувають на озброєнні РТВ, крім РЛС П-37, здатні вимірювати повні просторові координати в сфери-

чній або декартовій системі координат. РЛС П-37 за своїм призначенням є радіолокаційним дальноміром і третю координату не вимірює. Але потенційна можливість хоча б грубого вимірювання висоти цілей і в ній є, що визначається побудовою діаграми спрямованості антени у вертикальній площині у вигляді 5 парціальних променів. При цьому три нижні промені мають ширину у вертикальній площині не більше $2,5^\circ$. Тому за умов дообладнання РЛС метеоканалами така можливість може бути реалізована.

Точність вимірювання координат усіма РЛС і висотомірами та їхня роздільна здатність є порівнянними з аналогічними характеристиками МРЛ (табл. 2). А такі радіолокаційні засоби, як ПРВ-16 та 79К6, за точністю вимірювання висоти не поступаються МРЛ. Розміри та форма зони огляду простору є такими, що забезпечують метеорологічну розвідку на будь-якому азимуті та під кутами місця від 0° до $30-45^\circ$. Лише висотомір ПРВ-16 має обмеження по куту місця до 22° .

Можливості з визначення характеру опадів та їхньої інтенсивності

Однією з тенденцій розвитку світової метеорадіолокації є використання методів поляризаційної селекції для отримання інформації про фазовий стан метеорологічних об'єктів та інтенсивність метеоутворень.

На сьогодні жоден із радіолокаторів, які перебувають на озброєнні РТВ, не здатний вирішувати це завдання. Але певні потенційні можливості є. В таких РЛС як П-37, 19Ж6, 35Д6, 35Д6М, 79К6 та у висотомірі ПРВ-17 використовується поляризаційна селекція цілей на фоні завад. При цьому в РЛС 19Ж6, 35Д6, 35Д6М та 79К6 поляризаційна селекція використовується для виявлення цілей на фоні активних шумових завад. А в РЛС П-37 та у висотомірі ПРВ-17 поляризаційна селекція використовується саме для придушення відбиттів від дощових метеоутворень. Тому в цих двох засобах навіть на сьогодні є деяка можливість класифікації метеоутворень за ступенем їхнього придушення.

Щодо перспектив використання поляризаційної селекції для вирішення завдань з визначення характеру опадів та їхньої інтенсивності, то найбільшими вони є для висотоміра ПРВ-17. В ньому конструктивно закладена здатність випромінювання і прийому сигналів з довільною поляризацією, що дає можливість в перспективі отримувати повну поляризаційну матрицю відбиттів від метеоутворень.

В РЛС 19Ж6, 35Д6 та 35Д6М антенна система побудована так, що здатна випромінювати сигнали лише з горизонтальною поляризацією, а прийом здійснюється і на горизонтальній, і на вертикальній поляризації двома ідентичними каналами. Тому в цих РЛС в перспективі з вбудуванням метеоканалу можна отримувати неповну поляризаційну матрицю відбиттів від метеоутворень і вирішувати через це завдання з визначення характеру опадів та їхньої інтенсивності лише частково.

Стосовно РЛС П-37 та 79К6 перспектив щодо використання в них поляризаційної селекції для вирішення завдань з визначення характеру опадів та їхньої інтенсивності немає, незважаючи на те, що в них сьогодні й використовується поляризаційна селекція для вирішення певних завдань. В РЛС П-37 поляризаційна селекція метеоутворень здійснюється високочастотним вузлом у хвилеводі безпосередньо біля опромінювача, додаткового приймального каналу немає і конструктивної можливості вбудувати такий канал також немає, бо це потягне за собою перебудову усієї приймально-передавальної kabіни. В РЛС 79К6 поляризаційна селекція первісно закладалась лише для придушення активних шумових завад, що діють по головному променю діаграми спрямованості антени. Відповідно до цього й побудована фазована антенна решітка, і змінити там уже нічого неможливо.

Можливості з визначення параметрів руху метеоутворень

Можливості РЛС РТВ з визначення швидкості руху та турбулентності метеоутворень визначаються наявністю в них пристроїв спектрального аналізу відбиттів від метеоутворень або відповідних алгоритмів в спеціальному програмному забезпеченні. Такі пристрої є в РЛС 19Ж6 та 35Д6, а в РЛС 35Д6М та 79К6 є відповідні алгоритми. Тобто означені засоби принципово могли би визначати параметри руху метеоутворень. Але і пристрої і алгоритми орієнтовані на спектральний аналіз ехо-сигналів від точкових об'єктів, якими є літальні апарати і швидкості переміщення яких становлять сотні метрів на секунду. Через це детальність спектрального аналізу недостатня для вимірювання швидкості переміщення метеоутворень з необхідною точністю. Середньоквадратична похибка вимірювання радіальної швидкості об'єктів означеними РЛС становить 5-10 м/с, тоді як для сучасних метеорадіолокаторів ця величина має становити близько до 1 м/с (табл. 4) Навіть із вбудуванням в означені РЛС спеціального метеоканалу такої можливості не буде з кількох причин.

По-перше, для того, щоб підвищити детальність спектрального аналізу прийнятих сигналів і точність вимірювання швидкості переміщення об'єктів необхідно суттєво уповільнити темп огляду простору, а це вступає в протиріччя з основним призначенням РЛС. Тобто РЛС необхідно буде переводити в спеціальний режим метеорологічної розвідки.

По-друге, необхідно буде відмовитись від попачкової вобуляції періоду повторення зондувальних сигналів і перейти в режим випромінювання зондувальних сигналів з постійним періодом повторення, що позбавить РЛС 19Ж6, 35Д6, 36ДМ захисту від пасивних завад, а в РЛС 79К6 додатково до цього виникнуть ще й проблеми з однозначним вимірюванням дальності до об'єктів.

Крім того, введення в будь-якій з перелічених РЛС означених змін торкнеться майже усіх її систем

і фактично потягне за собою перебудову усієї РЛС.

В РЛС П-37 та висотомірах ПРВ-13, ПРВ-16 і ПРВ-17 можливостей з визначення швидкості руху та турбулентності метеоутворень на сьогодні немає. Але перспективи появи таких можливостей із введенням метеоканалів є за умови когерентного накопичення всього пакету відбитих ехо-сигналів. При цьому в РЛС П-37 швидкість обертання антени має бути не більше 3 об/хв.

Висновки

1. Усі радіолокаційні засоби сантиметрового діапазону хвиль, що перебувають на озброєнні РТВ, здатні за своїм енергетичним потенціалом виявляти небезпечні для авіації Повітряних Сил Збройних Сил України метеорологічні явища на всіх висотах і на дальностях, які є сумірними з відстанню між підрозділами, де вони розгорнуті. Особливо небезпечні явища, такі як гроза, зливи, можуть бути виявлені фактично в межах їхньої прямої видимості.

2. Розрізнення типів метеоутворень існуючими РЛС можливе лише за умови обладнання РЛС спеціальними метеоканалами, в яких будуть передбачені досконалі вимірювання потужності відбитих сигналів та калібрування вимірювальних трактів.

3. Можливості існуючих РЛС сантиметрового діапазону хвиль з визначення координат та просторових розмірів метеоутворень в цілому відповідають вимогам з метеорологічного забезпечення бойових дій авіації Повітряних Сил Збройних Сил України.

4. Можливості з визначення характеру опадів та їхньої інтенсивності за допомогою існуючих в РТВ РЛС сантиметрового діапазону хвиль носять дуже обмежений характер і практичного значення не мають. В перспективі, із введенням метеоканалів, використання поляризаційної селекції для вирішення завдань з визначення характеру опадів та їхньої інтенсивності можливе в повній мірі лише у висотомірах ПРВ-17 і частково в РЛС 19Ж6, 35Д6 та 35Д6М.

5. Визначення параметрів руху метеоутворень за допомогою існуючих в РТВ РЛС сантиметрового діапазону хвиль є або неможливим (П-37, ПРВ-13, ПРВ-16, ПРВ-17) або настільки грубим (19Ж6, 35Д6, 36Д6М, 79К6), що не має практичного використання. З введенням метеоканалу означене завдання можуть вирішувати такі засоби, як П-37, ПРВ-13, ПРВ-16 та ПРВ-17, тоді як 19Ж6, 35Д6, 36Д6М, 79К6 доопрацьовувати для вирішення цього завдання без зміни режимів роботи передавача немає сенсу, або ж потрібно буде вводити спеціальний режим роботи по метеоутворенням.

Список літератури

1. Горелик А.Г. Радиолокационная метеорология и перспективы ее развития / А.Г. Горелик // Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь» – ИРЭ РАН, 2009. - С.400-404.
2. Zrnic D.S. Estimation of spectral moments for weather echos / D.S. Zrnic // IEEE Trans. Geosci. Electron., vol. 17, 1979. P.113-128.
3. Рыжков А.В. Характеристики метеорологических РЛС / А.В. Рыжков // Зарубежная радиоэлектроника, 1993, №4. - С.29-34
4. Довиак Р. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения / Р. Довиак, Д. Зрнич - Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 512с.
5. Bringi V. N. Polarimetric Doppler Weather Radar: Principles and Applications / V.N. Bringi, V. Chandrasekar - Cambridge University Press, 2001 – 636 p.
6. Рыжков А.В. Поляризационные методы метеорологической радиолокации / А.В. Рыжков // Зарубежная радиоэлектроника, 1993. - № 4. - С.18-28.
7. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации / М.И. Финкельштейн. – М.: Радио и связь, 1983. – 536 с.
8. Радиометеорология: Учебн. для ВАИУ. / Под ред. В.Д. Степаненко. – М.: Военное издательство, 1984. – 208 с.

Надійшла до редколегії 7.02.2011

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. В.О. Василець, Харківський університет Повітряних Сил, Харків.

АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОБЗОРНЫХ РЛС САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ДЕЙСТВИЙ АВИАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СИЛ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ УКРАИНЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ

В.И. Климченко, Г.Г. Камалтынов, В.Л. Мисайлов

Рассматриваются возможности использования обзорные РЛС сантиметрового диапазона волн, находящихся на вооружении радиотехнических войск, для ведения метеорологической разведки с целью обеспечения авиации Воздушных Сил Вооруженных Сил Украины метеорологической информацией. Анализируются потенциальные и реальные возможности отмеченного класса радиолокационных средств по ведению радиолокационной разведки погодных явлений. Рассматриваются возможные направления модернизации обзорных РЛС сантиметрового диапазона волн для их использования в качестве средств метеорологической разведки.

Ключевые слова: радиолокационные средства, метеорологическая разведка, метеорологическая информация.

THE ANALYSIS OF POTENTIAL POSSIBILITIES OF CENTIMETRIC WAVE BAND SURVEILLANCE RADARS AS TO THE SUPPORT OF AIR FORCES ARMED FORCES OF UKRAINE AVIATION BY METEOROLOGICAL INFORMATION

V.I. Klimchenko, G.G. Kamaltynov, V.L. Misailov

Possibilities of centimetric wave band surveillance radars usage, being on radioengineering troop's armament, for the meteorological secret service conduct with the purpose of Air Forces Armed Forces of Ukraine aviation support by meteorological information are discussed. Potential and real possibilities of the noted class of radiolocation facilities are analyzed as to the radiolocation secret service of the weather phenomena conduct. Possible directions of the centimetric wave band surveillance radars modernization for their usage as meteorological secret service facilities are examined.

Keywords: radiolocation facilities, meteorological secret service, meteorological information.