

Зв'язок, радіотехніка, радіолокація, акустика та навігація

УДК 621.396.96:551.501.815

DOI: 10.30748/zhups.2018.57.14

Д.В. Атаманський

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

ПЕРСПЕКТИВНА МЕРЕЖА РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВІАЦІЇ

Визначається сучасний стан радіолокаційної складової існуючої мережі спеціалізованих засобів метеорологічного обслуговування авіації, що містить імпульсні доплерівські метеорологічні радіолокатори та аеродромні радіолокаційні комплекси з каналами обробки відбиттів від метеоутворень. Надаються розрахунки радіолокаційного поля, що створюється цією мережею. Показується, що вона не забезпечує потрібне суцільне радіолокаційне покриття на усіх заданих висотах. Обґрунтовуються пропозиції щодо створення суцільного метеорологічного радіолокаційного поля на основі перспективної мережі метеорологічних радіолокаційних засобів, в яку до існуючого парку імпульсних доплерівських метеорологічних радіолокаторів долучені радіолокаційні засоби сантиметрового діапазону із каналами обробки метеосигналів. Аналізуються можливості радіолокаційних засобів радіотехнічних військ (РТВ) щодо спроможності ведення радіолокаційної метеорологічної розвідки і видачі радіолокаційних даних про небезпечні для авіації явища природи за умови їх оснащення каналами обробки сигналів, відбитих від метеоутворень. Визначаються потенційні можливості вказаних радіолокаційних засобів щодо виявлення і розпізнавання метеоявищ різних типів і метеоутворень різних форм, а також необхідні технічні умови, за яких можлива реалізація цих можливостей. Показано, що радіолокаційні засоби РТВ сантиметрового діапазону хвиль можуть розглядатись як основні джерела метеоінформації при створенні локальної військової метеомережі попередження про небезпечні явища природи, або як джерела додаткової інформації при їх інтеграції до Національної інтегрованої інформаційної мережі гідрометеорологічного забезпечення та обслуговування, яку планують створити на Україні. Надаються розрахунки радіолокаційного поля, що створюється запропонованою мережею метеорологічних радіолокаційних засобів.

Ключові слова: радіолокаційні засоби, метеосигнали, метеомережа, радіолокаційне поле.

Вступ

Аналіз літератури та постановка задачі. Радіолокаційна розвідка погоди на маршрутах польотів є одним із основних способів ефективного цілодобового стеження за конвективними явищами погоди у повітряному просторі України [1]. На даний час радіолокаційні спостереження за метеоутвореннями над територією України здійснюють лише 2 метеорологічні радіолокатори (МРЛ) [2]. Для добування інформації про метеобстановку також залучають метеоканали оглядових аеродромних і трасових РЛС обслуговування повітряного руху (ОПР) [5–8] сантиметрового діапазону хвиль, зокрема, аеродромно-трасові радіолокатори типу АТСР- 33S/SIR-S. Вони дозволяють визначити зовнішні контури небезпечних метеоутворень (МУ). Однак і ці радіолокаційні засоби (РЛЗ) розміщені не на всіх аеродромах та мають обмежені можливості щодо видачі радіолокаційної метеорологічної інформації.

Можливі шляхи поповнення існуючої мережі радіолокаційних метеорологічних засобів пропонуються в роботах [5–7]. Сутність пропозицій полягає в створенні інтегрованої мережі, в яку до існуючого парку МРЛ долучені РЛЗ сантиметрового діапазону із каналами обробки метеосигналів, для яких отримання метеоінформації є побічним завданням. Перспективним напрямом в цьому плані може бути використання військових оглядових РЛС РТВ сантиметрового діапазону хвиль, що ведуть постійну розвідку повітряного противника [5; 8–10] за умов впровадження в них каналів обробки метеосигналів. Вони розгорнуті на позиціях в усіх радіотехнічних підрозділах майже рівномірно по всій території України, за діапазоном хвиль, характером та потужністю випромінювання співпадають з спеціалізованими радіолокаторами погоди, а за кількістю значно переважають їх.

Радіолокаційні засоби РТВ як засоби метеорозвідки розглядалися в [6], де в загальному проаналізовані їх можливості щодо розпізнавання метеоявищ та видачі інформації про первинні параметри метеоутворень. Зокрема, не враховані вимоги стандартів, які прийняті в спеціалізованих радіолокаційних метеорологічних засобах для такої інформації. Не визначені (хоча б в першому наближенні) параметри радіолокаційного поля розпізнавання метеоявищ природи за умов вико-

ристання військових засобів розвідки повітряного простору, що стало б вагомим аргументом визначення доцільності їх включення до майбутньої Національної інтегрованої інформаційної мережі гідрометеорологічного забезпечення та обслуговування. Дана стаття є логічним продовженням вказаної роботи.

Мета статті: кількісна оцінка потенційних можливостей радіолокаційних засобів РТВ щодо здійснення розвідки погоди та попередня оцінка параметрів радіолокаційного поля виявлення метеоутворень та розпізнавання небезпечних явищ природи (РНЯП) перспективної мережі метеорологічних радіолокаційних засобів, в яку до існуючого парку МРЛ долучені РЛЗ РТВ сантиметрового діапазону з каналами обробки метеосигналів.

Виклад основного матеріалу

1. Потенційні можливості радіолокаційних засобів військового призначення як джерел метеорологічної інформації.

1.1. Метеорологічний потенціал військових РЛС.

Потенційні можливості військових РЛС по метеорологічному обслуговуванню авіації оцінюють по "метеорологічному потенціалу (Π)" РЛЗ ([11]):

$$\Pi = \frac{P_i \cdot G_{\text{прд}} \cdot G_{\text{пр}} \cdot \pi^2 \cdot \Omega_p \cdot k_r \cdot c \cdot K_{\text{AB}}}{2^7 \cdot \lambda^2 \cdot P_{\text{ш}} \cdot \Pi_c}, \quad (1)$$

де P_i – потужність зондувального імпульсу радіолокаційного засобу, Вт; $G_{\text{прд}}$ і $G_{\text{пр}}$ – коефіцієнт підсилення передавальної та приймальної антени відповідно; $k_r = 1/2 \ln 2$ – коефіцієнт, обумовлений гаусівською апроксимацією діаграми спрямованості (ДС) антени ([12], с.47); $\Omega_p \approx \pi \Delta \epsilon \Delta \beta / 4$ – тілесний кут, стеррад; $\Delta \beta$ і $\Delta \epsilon$ – ширина ДС антени в горизонтальній і вертикальній площинах на рівні 0,5 потужності, рад; $P_{\text{ш}} = k \cdot T_0 \cdot \Pi_{\text{ш}} (k_{\text{ш}} - 1 + t_a)$ – потужність шумів приймача, Вт; K_{AB} – коефіцієнт корисної дії високочастотного тракту; c – швидкість поширення електромагнітних коливань в атмосфері, м/с; Π_c – ширина спектру зондувального імпульсу, Гц; λ – довжина хвилі, м.

Згідно "Доповнень і змін до норм придатності до експлуатації цивільних аеродромів (НПЕА)" метеорологічний потенціал РЛС, що використовують діапазон довжин хвиль від 0,03 м до 0,11 м, повинен становити не менше 267 дБ/м. За цих умов інформація РЛС не спотворює площу опадів і висоту радіовідбиттів від метеоутворень [11].

Для визначення метеопотенціалу некогерентних неавтоматизованих МРЛ (МРЛ-1, 2, 5) поряд з (1) використовують інший вираз ([12], (1.1)):

$$\Pi_M, \text{дБ} = 10 \lg A_p + 10 \lg P_i + 10 \lg h + 10 \lg K_{\text{AB}} - 10 \lg P_{\text{ш}} - 40 \lg \lambda - 110, \quad (2)$$

де P_i – потужність зондувального імпульсу, кВт;

A_p – площа апертури антени, м²;

λ – довжина хвилі, см;

$h = \frac{c}{\Pi_c}$ – подвоєна роздільна здатність за дальністю (в термінах [11]) – часова протяжність зондувального імпульсу).

Вважається, що МРЛ придатний для метеозабезпечення авіації, якщо його потенціал Π_M (2) становить не менш 47 дБ.

Результати розрахунку метеорологічного потенціалу РЛС РТВ за виразами (1–2) показані на рис. 1, а, б відповідно. Видно, що усі РЛС сантиметрового діапазону, які стоять на озброєнні РТВ, за своїм енергетичним потенціалом спроможні забезпечити метеоданими цивільну та державну авіацію держави.

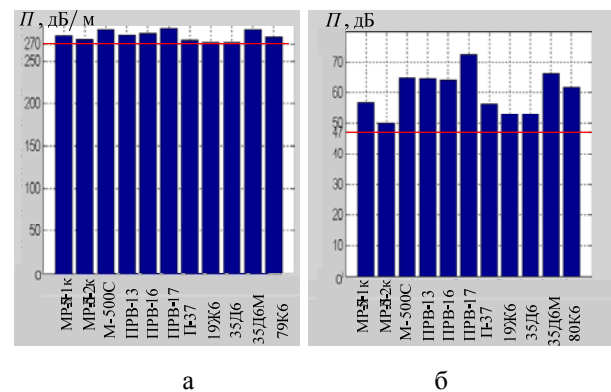


Рис. 1. Метеорологічний потенціал військових радіолокаційних засобів

Очевидно, що потенційні можливості метеорологічної розвідки для кожного типу РЛЗ будуть різними в залежності від основного призначення РЛЗ, його тактико-технічних характеристик та оснащення спеціальними метеоканалами. Можна розглядати різні варіанти їх використання, зокрема:

- обмежитись тільки використанням каналу цілі з перетворенням у цифрову форму відбиттів від МУ після фазового (амплітудного) детектора і подальшою обробкою даних в спеціальному процесорі;
- введення спеціального додаткового каналу обробки метеосигналів.

В першому випадку можна сформувати лише просторові контури небезпечних явищ природи. Другий варіант потенційно дозволяє вилучити більший обсяг метеоінформації і тому є більш привабливим. Ефективність радіолокаційного виявлення МУ для цього варіанту аналізується нижче.

1.2. Ефективність радіолокаційного виявлення хмарних утворень та розпізнавання небезпечних явищ природи радіолокаційними засобами РТВ.

На даний час загально прийнятого поняття радіолокаційного виявлення та розпізнавання метеоутворень не існує. Часто виявлення вважають частиною розпізнавання метеоутворень [13], а іноді ці поняття об'єднують одною назвою – виявлення [15]. В роботах [16–17] поняття виявлення пов'язують з виявленням метеоб'єкта в елементі розділення, а розпізнавання – з так званою чарункою дальності (метеорологічного елемента подання), що включає декілька елементів розділення і, таким чином, враховує просторову розподіленість МУ.

В даній роботі під дальністю виявлення метеоутворення (МУ) будемо розуміти максимальну дальність до МУ з заданою відбиваністю, на якій з необхідними показниками якості приймається рішення про наявність в елементі розділення відбиття від МУ. Завдання виявлення будемо відносити до виявлення різних форм хмарності.

Під дальністю розпізнавання метеоявищ будемо розуміти максимальну дальність до метеорологічного елемента подання, на якій з заданими показниками якості приймається рішення про наявність заданого атмосферного явища (град, гроза, опади та ін.), або заданої форми хмарності (шарувато подібна хмарність, хмарність верхнього, середнього ярусу) [18].

Максимальні дальності виявлення метеоутворень і розпізнавання метеоявищ визначають ефективність військових РЛЗ щодо видачі метеорологічної інформації до мережі попередження та оповіщення населення про небезпечні явища природи.

1.2.1. Дальність радіолокаційного виявлення метеоутворень РЛЗ РТВ.

1.2.1.1 Максимальну дальність виявлення МУ визначають з рівняння радіолокації атмосферних утворень ([11], (2.2.9)):

$$\frac{\bar{P}_{\text{пр}}}{P_{\text{ш}}} = \Pi \frac{Z_e}{r^2} k_{\text{рпн}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_3 \cdot k_a, \quad (3)$$

де $k_{\text{п}} < 1$ та $k_{\text{рпн}} < 1$ – коефіцієнти, що враховують вплив підстилюючої поверхні на формування діаграми спрямованості (ДС) антени РЛЗ та ослаблення електромагнітної хвилі в плівці води на оболонці радіопрозорого покриття антени, яка утворюється під час випадіння опадів в місці розташування РЛЗ;

$k_3 \leq 1$ – коефіцієнт заповнення¹ імпульсного об'єму;

r – дальність до елемента відбиття, від якого отримано сигнал;

k_a – ослаблення радіохвиль в газах атмосфери, хмарах та опадах при їх розповсюдженні на шляху $2r$;

Z_e – еквівалентна радіолокаційна відбиваність метеоутворення [11], м³;

$\bar{P}_{\text{пр}}$ – середня потужність сигналу, відбитого від метеоутворення (потужність метеосигналу);

$P_{\text{ш}}$ – середня потужність внутрішніх шумів приймача РЛЗ.

1.2.1.2 Рішення про виявлення метеоутворення в елементі розділення приймається у випадку, якщо

$$\bar{P}_{\text{пр}}/P_{\text{ш}} \geq k_{\text{об}}, \quad (4)$$

де $k_{\text{об}}$ – коефіцієнт, що визначається заданими показниками якості радіолокаційного виявлення.

Тоді з урахуванням (3–4) максимальну дальність виявлення ($r_{\text{макс}}$) можна подати у вигляді:

$$r_{\text{макс}} = \sqrt{\Pi \cdot Z_e \cdot \frac{1}{k_{\text{об}}} \cdot k_{\text{рпн}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_3 \cdot k_a}. \quad (5)$$

Обговоримо детальніше умови застосування формули (5).

В оперативній практиці $r_{\text{макс}}$ визначають при наступних припущеннях:

– значення Z_e розраховується для релєвського однократного некогерентного електромагнітного розсіювання випромінювання частинок метеоутворень (с. 24, [11]);

– імпульсний об'єм вважається цілком заповненим ($k_3 = 1$);

– при кутах місця антени більше $\Delta\epsilon/2$ вплив рельєфу на формування ДС антени ($k_{\text{п}} = 0$) не враховується;

Значення коефіцієнту $k_{\text{рпн}}$ затування в вітрозахисному укритті антени (Radome) залежить від товщини плівки води на його поверхні. За результатами досліджень РЛС з довжиною хвилі $\lambda = 10$ см затування в Radome не перевищує $k_a = 0,4$ дБ навіть в інтенсивних опадах (50 мм/год.), і тому при розрахунках вважають $k_{\text{рпн}} = 1$ [19].

Коефіцієнт k_a в (5) можна подати у вигляді

$$k_a = k_{\text{ат}} + k_{\text{хм}} + k_{\text{оп}}, \quad (6)$$

де $k_{\text{ат}}$, $k_{\text{оп}}$ та $k_{\text{хм}}$ – коефіцієнти ослаблення радіохвиль відповідно у газах атмосфери, в опадах та хмарах різних форм.

Послаблення атмосферними газами (киснем, водяною парою) завжди присутнє на трасі МРЛ –

¹ Коефіцієнт заповнення k_3 – відношення об'єму елемента розділення, що заповнений частинками хмар і опадів, до всього об'єму елемента розділення [16, с. 48].

МУ поширення електромагнітних хвиль, і для кутів огляду $\alpha < 18^\circ$ та дальності $R < 200$ км дорівнює ((6,7), (6,8), [19]):
 для $\lambda = 10$ см:

$$k_{ар} = \left(0,4 + 3,45e^{-\frac{\alpha}{1,8}} \right) \left(1 - e^{-R/(27,8+1,54e^{-\frac{\alpha}{2,2}})} \right); \quad (7)$$

для $\lambda = 3,2$ см:

$$k_{ар} = 1,722 \left\{ \begin{array}{l} \left(0,4 + 3,45e^{-\frac{\alpha}{1,8}} \right) \times \\ \times \left(1 - e^{-R/(27,8+1,54e^{-\frac{\alpha}{2,2}})} \right) \end{array} \right\}. \quad (8)$$

Послаблення в опадах визначають через їх інтенсивність (табл. 1). Послаблення в сухому снігу мале, а в мокрому таке, як і опадах.

Послабленням в хмарах на хвилі $\lambda = 10$ см можна нехтувати, оскільки навіть при сильних опадах воно не більше $\chi_{xm} = 0,003$ дБ/км. При загальній протяжності хмар $R_\Sigma = 100$ км коефіцієнт $k_{xm} = 1/10^{\chi_{xm} R/10} = 0,993$, що практично не зменшує дальності виявлення. Послаблення в хмарах на хвилі $\lambda = 3$ см знаходиться в межах від $2,5 \cdot 10^{-3}$ до $8,6 \cdot 10^{-2}$ і може стати відчутним вже при $R_\Sigma = 100$ км.

Таблиця 1

Подвоєне ослаблення (дБ/км) в рідких опадах в залежності від довжини хвилі (см) і інтенсивності опадів [11]

Інтенсивність опадів, J мм/год	Градация опадів [19]	Довжина хвилі МРЛ, см		
		3	5,6	10
0,5	слабкі	0,006	0,002	0,0003
1	помірні	0,014	0,004	0,0006
5	сильні	0,122	0,03	0,003
10	Зливи слабкі	0,302	0,066	0,006
50	Зливи	2,5	0,43	0,03
100	сильні	6,16	0,962	0,06

1.2.1.3 Дальність $r_{макс}$ (5) може обмежуватись кривизною Землі і висотою розташування МУ відносно Землі.

Висоту H_T зони геометричної тіні, вище якої будуть виявлятися метеоутворення, можна визначити з виразу

$$H_{ц} = r \cdot \sin \varepsilon_{ан} + \xi \cdot r^2 + h_a, \quad (9)$$

де $\varepsilon_{ан}$ – місця антени; r – відстань від МРЛ до метеоцілі, км; h_a – висота антени; $\xi = 6 \cdot 10^{-5}$ – коефіцієнт скривлення для нормальної рефракції.

Розрахунки по формулі (9) показують, що практичне виявлення та розпізнавання виду опадів при

$\varepsilon_{ан} = 0^\circ$, $\Delta\varepsilon = 1^\circ$ обмежується дальністю 230–250 км, хоча потенціал військових РЛЗ виявляти метеоутворення в діапазоні до 450 км. На дальностях 350–450 км виявляються лише дуже сильні грози на висотах $H_{макс} > 12$ км, оскільки при цьому просторове розділення для $\Delta\varepsilon = 1^\circ$ складає 8 км, а інтервал висот до 8 км знаходиться в зоні геометричної тіні Землі.

1.2.1.4 Вирази (1–9) дозволяють визначити максимальні дальності виявлення метеоутворень військовими РЛЗ. Результати розрахунків показані в табл. 2 (верхні значення в рядках). Для порівняння наведені також дані для МРЛ “Метеор 500 С”, отримані в процесі сертифікаційних випробувань АМРК “Метеор-метеочейка” [11–12]. Розрахунки проведено для максимальних міжімпульсних інтервалів зондування, тривалості зондувальних імпульсів РЛЗ, мінімального та максимального значень відбиваності \bar{Z}_e , дБZ відповідної форми хмарності (табл. 3, [11]) і коефіцієнті (4) $k_{об} = 25^2$.

Аналіз результатів розрахунків показує, що як для спеціалізованих МРЛ, так і для РЛЗ РТВ ефективна дальність виявлення небезпечних явищ, пов'язаних з купчасто-дощовими хмарами (гроза, злива, облогові опади), обмежується кривизною Землі і висотами розташування МУ. Військовими РЛЗ виявлення МУ з малими значеннями відбиваності (різні форми хмарності, що не дають опадів) здійснюється на дальностях, що практично в 2 рази менші, ніж дальність дії сучасних спеціалізованих МРЛ (МЕТЕОР 500 С).

Основними причинами цього є широка ДС антени в кутомісній (35Д6, 35Д6М, 80К6, П-37) та азимутальній площинах, втрати потужності в антенно-фідерній системі³, низька чутливість приймачів РЛЗ.

1.2.1.5 Значення максимальних дальностей, наведених в табл. 2, можуть зменшуватись, якщо динамічний діапазон (ДД) приймачів військових РЛЗ не відповідає вимогам неспотвореного вимірювання потужності відбиттів від МУ. Тут $\overline{P_{прмакс}}$ – максимальний середній рівень сигналу, при якому прийнятий сигнал від МУ при обробці не спотворюється.

$$D, дБ = 10 \lg \left(\frac{\overline{P_{прмакс}}}{P_{ш}} \right). \quad (10)$$

² Числове значення $k_{об} = 25$ відповідає ймовірності $D = 0,95$ виявлення сильно флюктуючого сигналу на фоні внутрішніх шумів приймача з ймовірністю хибної тривоги $F = 10^{-4}$ (с. 236, [20]).

³ Коефіцієнт корисної дії антенно-фідерної системи МЕТЕОР 500С складає 0,7, типове значення для РЛЗ РТВ – 0,38.

Оцінимо можливості військових РЛЗ по неспотвореній передачі потужності відбитих сигналів (відбиваності метеоутворень). Для цього знайдемо еквівалентну відбиваність Z_e із рівняння (3) радіолокації метеоутворень за умов $\overline{P_{пр}} = \overline{P_{прмакс}}$, $k_n = 1$, $k_3 = 1$, та виразимо усі члени рівняння в дБ. Після нескладних перетворень (3) одержимо ([11], (11))

$$Z_{e, дБЗ} = D - \Pi_M + 20 \cdot \lg(r) - \chi - 10 \cdot \lg(k_{рпу}), \quad (11)$$

де D , дБ – ДД приймача РЛЗ; Π_M , дБ – метеорологічний потенціал, розрахований згідно з (2); r , км – дальність до метеоцілі, від якої прийнято відбитий сигнал; χ , дБ/км – коефіцієнт послаблення електромагнітної хвилі в атмосфері; $k_{рпу}$ – коефіцієнт послаблення на радіопрозорому укритті.

Відбиваності Z_e (11), які неспотворено вимірюються, для дальностей $r = 10$ км, $r = 100$ км та

максимальної однозначної дальності $r_{макс.одн}$ наведені в табл. 3.

Аналіз даних табл. 3 показує, що ДД військових РЛЗ старого парку (ПРВ-13, 16, 17, П-37) істотно обмежує, а у більшості випадків – навіть унеможливує адекватний вимір відбиваності метеоутворень. У разі модернізації приймальних пристроїв висотомірів ПРВ-13, 16, 17, РЛС 35Д6, П-37 до рівня технічних характеристик приймача РЛС 35Д6М дальності виявлення метеоутворень будуть наближатися до дальності сучасних МРЛ. Результати розрахунків для цього випадку наведено в таблиці 2 в дужках.

1.2.1.6 Наведені в табл. 2 дані характеризують ефективність військових РЛЗ як джерел метеоінформації лише частково. Вони доповнюються нижче розрахунками їх потенційних можливостей по радіолокаційному розпізнаванню небезпечних метеоявищ природи.

Таблиця 2

Розрахункова дальність виявлення МУ з $P = 0,95$ ($\epsilon_{ан.} = 0^0$), км

Форма хмар	Атмосферне явище	$H_{ср}$, км	МРЛ-5	МЕТЕ-ОР 500 С	ПРВ-13	ПРВ-16	ПРВ-17	П-37	35Д6	35Д6М	80К6
Купчастодощові (Cb, Cb cong)	гроза	7–9	160–200	250	230–250	250	250	200 (250)	200 (250)	200	150
	злива	5,4	120	200	170–200	160–200	200	90–120 (170–200)	90–120	90–120	100
Шаруватодощові (Ns)	облогові опади	5,1	90–120	175–200	100–170 (140–200)	100–160 (200)	120–195 (200)	55–90 (100–170)	55–90 (70–120)	90–120	100
Шаруваті, шаруватокупчасті (St, Sc, As)	мряка	9,0	45–65	90–120	40–60 (55–85)	45–70 (90–120)	50–80 (90–120)	25–35 (40–60)	25–35 (30–45)	40–60	30–50
Потужні купчасті (Cu cong)	без опадів	3,5	30–50	60–100	25–45 (35–55)	30–50 (60–100)	30–55 (60–100)	15–25 (25–50)	15–25 (18–35)	25–45	20–40
Хмари інших форм	без опадів	6–9	20	45	18 (25)	20 (45)	20 (45)	8 (16)	10 (13)	18	15

Таблиця 3

Значення Z_e , до яких забезпечується неспотворене вимірювання відбиваності МУ

	МЕТЕ ОР 500 С	ПРВ-13	ПРВ-16	ПРВ-17	П-37	19Ж6	35Д6	35Д6М	80К6
D , дБ	95	40	30	60	40	60	60	60	90
$r_{макс.одн}$, км	150	186	187	102	200	88	92	92	92
Π_M , дБ	66	64	63,9	72,57	56,58	49,96	49,96	62,98	61,57
$Z_e _{r=10 \text{ км}}$, дБЗ	50	-4,43	-13,9	7,43	3,42	30,04	30,04	17,02	48,46
$Z_e _{r=100 \text{ км}}$, дБЗ	70	15,6	6,1	27,43	23,42	50,04	50,04	37,02	68,43
$Z_e _{r_{макс.одн}}$, дБЗ	73	20,95	11,53	27,6	29,44	48,93	49,32	36,3	67,7

1.2.2. Дальність радіолокаційного розпізнавання небезпечних явищ природи військовими РЛЗ.

1.2.2.1 Для розпізнавання небезпечних гідрометеорологічних явищ (гроз, злив) зазвичай застосовують пороговий критерій U , який пов'язує висоту радіовідбиття від купчасто-дощової хмари (C_b) з її відбивністю Z (максимальну по всій хмарі або в одному з її характерних прошарків) [11; 19]:

$$U = 0,1 \cdot N_{\max} (Z_{e3} - 18), \quad (12)$$

де N_{\max} – максимальна висота радіовідбиття C_b (км); Z_{e3} – значення відбивності в прошарку на 2–2,5 км вище рівня нульової ізотерми $N_{0^{\circ}C}$.

По значенню U визначають належність купчасто-дощових хмар до грозових або зливових. Зокрема, при $U \geq 13..15$ 90 % купчасто-дощових хмар відносять до грозових. Для інтерпретації результатів додатково використовують інформацію про характер зміни відбивності з висотою (вертикальний профіль відбивності). У метеорологічних радіолокаторах (МРЛ) використовують три рівні знімання величини Z , що дозволяє отримати інформацію про вертикальний розподіл відбивності: 1 рівень – на висоті 1 км; 2 рівень – на висоті нульової ізотерми $N_{0^{\circ}C}$; 3 рівень – висота $N_{0^{\circ}C} + 2$ км.

На використанні вертикального профілю відбивності базується так званий VIL – критерій (вертикально проінтегрована водність (vertically integrated liquid water content (VIL))), що широко використовується у США [11] для визначення районів, зайнятих небезпечними конвективними явищами. VIL-критерій (M^*) розраховується по формулі:

$$M^* = 3,44 \cdot 10^{-6} \cdot \sum_{i=1}^{\infty} [Z_i + Z_{i+1}]^{4/7} \cdot \Delta h, \quad (13)$$

де Z_i – відбивність на i -му рівні (прошарку) штурмонебезпечної хмари; Δh – різниця висот між i -м та $(i+1)$ рівнями C_b . Зазвичай значення різниці висот $\Delta h = 1$ км.

Із (12), (13) випливає, що вихідними даними для реалізації алгоритмів розпізнавання небезпечних явищ природи типу гроза, злива, облогові опади є значення відбивності $Z(h)$ в заданих прошарках метеоутворення. Залежність $Z(h)$, $h = \Delta h \cdot j$, $j \in 1, J$, будують по оцінкам відбивності Z_j в $j=10..12$ прошарках товщиною $\Delta h \leq 1$ км [11].

1.2.2.2 Радіолокаційну відбивність метеоутворення в n елементах розділення розраховують по вимірам потужностей сигналів $P_{пр,n}$, прийнятих від $n \in 1, N$ імпульсних елементів розділення [11–12; 21].

Споживачеві видається оцінка відбивності Z_{ℓ} метеоутворення в декартовій системі координат по всім стандартним чарункам відображення інформації (т.зв. карта радіолокаційної відбивності). За стандартну чарунку (елемент) подання метеорологічної інформації (рис. 2) приймається елемент з розмірами по горизонталі ($a \times b$), км і по вертикалі – Δh , км.

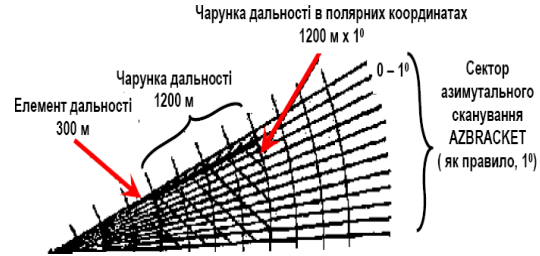


Рис. 2. Чарунка дальності і азимутальний сектор [11]

Відбивність Z_{ℓ} ℓ -го метеорологічного елемента подання, який знаходиться на відстані r_{ℓ} від МРЛ, є усереднене значення відбивностей Z_n радіолокаційних елементів розділення, що входять до чарунки дальності (рис. 4) з просторовими розмірами $a_r \times (r_{\ell} \cdot \beta_{уср}) \times (r_{\ell} \cdot \epsilon_{уср})$ в полярній системі координат. Тут r_{ℓ} – похила дальність до середини ℓ -ї чарунки дальності, (км); a_r , $\beta_{уср} = b/r_{\ell}$ і $\epsilon_{уср} = \Delta h/r_{\ell}$ – інтервали усереднення по дальності (км), азимуту і куту місця (град). Інтервали усереднення за азимутом та кутом місця зазвичай вибирають рівними роздільним здатностям по відповідним координатам ($\Delta\beta$, $\Delta\epsilon$), або можуть призначатись оператором МРЛ [11].

На відміну від розмірів ($a \times b \cdot \Delta h$) метеорологічного елемента подання, які постійні на будь-якій дальності від РЛЗ, лінійні розміри ($a_r \times (r_{\ell} \cdot \Delta\beta) \times (r_{\ell} \cdot \Delta\epsilon)$) n -го радіолокаційного елемента розділення збільшуються із збільшенням дальності (r_{ℓ}) його розташування від РЛЗ. Максимальну похилу дальність r_n до радіолокаційного елемента розділення вважатимемо максимальною дальністю $r_{рmax}$ розпізнавання, якщо розміри елемента розділення не перевищують розмір елемента подання та для всіх J прошарків МУ можна отримати дані, необхідні для вибраного алгоритму розпізнавання.

Можна показати, що при апроксимації радіолокаційного елемента розділення паралелепіпедом, для РЛЗ (ПРВ, МРЛ) з голкоподібними ДС і послідовним скануванням простору максимальна дальність розпізнавання $r_{рmax}$ дорівнює максимальній дальності r_n , при якій ще виконуються умови:

$$(\Delta h_n \leq \Delta h) \& (b_n \leq b) \& (\Delta r \leq a_r); \quad (14, a)$$

$$\Delta h_n = 2 \cdot r_n \cdot \sin(\Delta \varepsilon / 2); \quad (14, б)$$

$$b_n = 2 \cdot r_n \cdot \sin(\Delta \beta / 2). \quad (14, в)$$

де r_n – дальність до середини n -го елемента розділення; Δr – роздільна здатність за дальністю.

1.2.2.3 В РЛС РТВ положення парціальних ДС, що утворюють результуючу ДС антени в кутомісцевій площині, зазвичай фіксовані. Через відсутність сканування ДС в кутомісцевій площині та просторово-розподілений характер МУ відбиваності, що отримуються від радіолокаційних елементів розділення, пов'язуються з фіксованими кутами місця ε_i , $i \in 1, L$ максимумів L парціальних ДС. Тому максимальну дальність розпізнавання при використанні РЛС типу 36Д6 можна сформулювати наступним чином. Якщо для кожного із $j \in 1, J$ прошарків МУ з товщиною прошарку Δh знайдеться така дальність r та кутові положення антени, при яких

$$(h_j \leq h^{(i)} \leq h_{j+1}) \& (b_r \leq b) \& (\Delta r \leq a_r); \quad (15, a)$$

$$h^{(i)} = r \cdot \sin(\varepsilon_i); \quad (15, б)$$

$$b_r = r \cdot \sin(\Delta \beta / 2), \quad (15, в)$$

то $r = r_{p \max}$.

1.2.2.4 Метеоявища розпізнаються в процесі виявлення МУ. Тому фактори, що обмежують дальність виявлення МУ (кривизна Землі, висота розташування МУ відносно Землі та ін.), обмежують і дальність розпізнавання метеоявищ. Додаткові фактори, що обмежують цю дальність, обумовлені вимогами (12–15). Це ілюструється даними табл. 4, де по (14–15) з використанням (12–13) розраховані дальності розпізнавання метеоявищ.

Видно, що, зокрема, в РЛС 36Д6 з більшим метеопотенціалом, ніж у спеціалізованому МРЛ (Метеор 635 С) (рис. 2), розпізнавання гроз згідно з алгоритмами (12–13) можливо тільки до дальностей 70 км. Це пов'язано з фіксованими положеннями ε_i ($i \in 1, L$) парціальних ДС антени (в діапазоні $20^\circ \dots 6^\circ$ $\varepsilon_i = 0,5^\circ; 2^\circ; 4^\circ; 5,2^\circ$ [8–9]) та з їх більшою у порівнянні з МРЛ шириною $\Delta \varepsilon_i > 1^\circ$, у зв'язку з чим лінійні розміри радіолокаційного елемента розділення в РЛС 36Д6 більші, ніж в МРЛ "Метеор 635 С".

Загалом, через низькі (у порівнянні із спеціалізованими МРЛ) роздільні здатності по просторовим координатам алгоритми (12–13) розпізнавання метеоутворень можна реалізувати у повному обсязі лише у висотомірах ПРВ-13, ПРВ-16, а в РЛС типу 36Д6 – лише алгоритм (13). В цілому максимальні дальності розпізнавання атмосферних явищ розглянутими

РЛЗ РТВ в 2–2,5 рази менші, ніж у спеціалізованих МРЛ (Метеор 635С).

Дані табл. 2 визначають вимоги до потрібної щільності просторового розташування військових РЛЗ з метеоканалом для обслуговування споживачів метеоінформації. Зокрема, їх розташування на відстанях до 140 км одне від одного задовольняє системі штормоповіщення населення і теоретично повинно забезпечити суцільне радіолокаційне поле над територією держави.

3. Радіолокаційне поле перспективної багатофункціональної метеорологічної радіолокаційної мережі обслуговування авіації

Радіолокаційна складова системи технічних засобів попередження про небезпечні метеорологічні явища природи містить 5 імпульсно-доплерівські МРЛ (ІД МРЛ) типу МЕТЕОР 635С (виробництво Німеччина), розгорнутих в аеропортах міст Львів, Київ, Харків, Донецьк, Сімферополь, та однієї МРЛ-5 в аеропорту Запоріжжя.

РЛП РМЯ, яке можуть створювати ці РЛЗ, залежить від поточної форми хмарності і можливості долучення вказаних МРЛ до мережі (на даний час МРЛ Харків, Львів, Донецьк, Сімферополь ізольовані від мережі).

Як показують розрахунки (рис. 3), навіть при повному комплекті МРЛ РЛП РНЯП не є суцільним над всією територією України. Дуже обмежені можливості існуючої системи попередження щодо розпізнавання в купчастій хмарності ділянок з небезпечним рівнем турбулентності та зсуву вітру (рис. 3, б).

На рис. 4 з використанням припущення квазірівномірного розташування РЛЗ РТВ і даних табл. 2; 4 показані результати розрахунків радіолокаційного поля (РЛП) розпізнавання небезпечних явищ природи (РНЯП) РЛЗ об'єднаної системи метеорологічних радіолокаційних спостережень.

Із рисунку візуально видно, що РЛП РМЯ РЛЗ РТВ дублює РЛП РМЯ спеціалізованих засобів розвідки МУ, а там де їх немає – суттєво доповнює існуюче. В залежності від виду метеоявищ, що розпізнаються, це доповнення може сягати від 20 до 50 відсотків території України з висотами нижньої та верхньої кромки, які визначаються видом метеоутворення (табл. 1).

Висновки

1. Радіолокаційні засоби сантиметрового діапазону хвиль, що перебувають на озброєнні РТВ, потенційно спроможні за своїм енергетичним потенціалом забезпечувати метеоданими авіацію ПС ЗС України та інших споживачів метеоінформації. Вони можуть розглядатись як основні джерела метеоінформації при створенні локальної військової метеомережі попередження про небезпечні метеоявища, або як

джерела додаткової інформації за умов її інтеграції в єдину державну метеомережу прогнозування погоди. Цю інформацію можливо добувати та видати в авто-

матичному режимі в процесі бойового застосування РЛЗ РТВ.

Таблиця 4

Розрахункова дальність виявлення (чисельник) та розпізнавання (знаменник) метеоявищ по метеорологічним елементам подання з розмірами $(2 \times 2) \times 2$ (км)

РЛЗ	$\Delta\beta$, град	$\Delta\varepsilon$, град	Форма хмарності					Обмеження
			Купчасто-дощові		Шарувато-дощові	Шаруваті, шарувато-купчасті	Потужні купчасті	
			Типові атмосферні явища					
			гроза	злива	облогові опади	мряка	без опадів	
			середня висота верхньої (чисельник) та нижньої (знаменник) межі хмари, км					
$\frac{7-9}{1}$	$\frac{5,4}{1}$	$\frac{5,1}{1}$	$\frac{5,1}{1}$	$\frac{3,5}{1}$				
Метеор 635 С	1	1	$\frac{250}{250}$	$\frac{200}{200}$	$\frac{175}{175}$	$\frac{120}{120}$	$\frac{90}{90}$	
36Д6М	2	1,5	$\frac{180}{70}$	$\frac{180}{70}$	$\frac{120}{70}$	$\frac{40}{40}$	$\frac{30}{30}$	$\Delta\beta, \Delta\varepsilon$
ПРВ-13	2	50'	$\frac{230}{100}$	$\frac{200}{100}$	$\frac{140}{100}$	$\frac{85}{85}$	$\frac{55}{55}$	$\Delta\beta$
ПРВ-16	2,2	28'	$\frac{230}{120}$	$\frac{200}{120}$	$\frac{170}{120}$	$\frac{120}{120}$	$\frac{80}{80}$	$\Delta\beta$



Рис. 3. Розрахункове РЛП РНЯП, що створюють ІД МРЛ

Рис. 4. Розрахункове РЛП РНЯП Національної інтегрованої інформаційної мережі гідрометеорологічного забезпечення та обслуговування при залученні РЛЗ РТВ із вбудованими метеоканалами

2. Ефективна дальність виявлення небезпечних явищ природи, пов'язаних з купчасто-дошовими хмарами, як спеціалізованими МРЛ, так і РЛЗ РТВ обмежується кривизною Землі і висотами розташування метеоутворень над поверхнею Землі. Виявлення РЛЗ РТВ метеоутворень з малими значеннями відбиваності із-за низької чутливості радіоприймальних пристроїв (при коефіцієнті шуму 4...5) можливо на дальностях в приблизно 1,5...2 рази менших за дальність сучасних МРЛ.

3. За умов модернізації приймальних пристроїв висотомірів ПРВ-13, ПРВ-16, ПРВ-17, РЛС П-37, 35Д6(19Ж6) до рівня технічних характеристик приймача 36Д6М (такі можливості існують на підприємствах НВП "Аеротехніка", НВП КП "Іскра") ефективні дальності виявлення метеоутворень будуть співрозмірні з дальностями сучасних спеціалізованих метеолокаторів, а деякі з них (ПРВ-17) вже зараз мають потенційно кращі характеристики.

4. Реалізація алгоритмів розпізнавання метеоутворень можлива в повному обсязі в висотомірах ПРВ-13, ПРВ-16, ПРВ-17, а в РЛС типу 35Д6(19Ж6)

– лише окремих з них. Із-за низьких в порівнянні зі спеціалізованими МРЛ, роздільних здатностей за просторовими координатами, максимальні дальності розпізнавання атмосферних явищ розглянутими РЛЗ РТВ в 2-2,5 рази менші за максимальні дальності спеціалізованих МРЛ (МЕТЕОР 500С).

5. Компенсувати це зменшення можливо за рахунок збільшення чисельності РЛЗ, що залучаються для радіолокаційної розвідки метеоутворень та розпізнавання метеоявищ. Використання інформації від РЛЗ РТВ потенційно дозволяє істотно покращити параметри єдиного метеорологічного радіолокаційного поля.

6. Резервом збільшення дальності виявлення та розпізнавання небезпечних для авіації атмосферних явищ, і тим самим зменшення негативного впливу недоліків окремого РЛЗ, є інтегрування і комплексування інформації в мережі (в угрупованні РЛЗ РТВ), створеній з використанням розглянутих РЛЗ. За таких умов можливо спеціалізувати метеоканали РЛЗ по окремих завданнях, виконання яких для нього є найбільш прийнятним.

Список літератури

1. Авіаційні правила України "Метеорологічне обслуговування цивільної авіації". Затверджено наказом Державної авіаційної служби України № 166 від 09.03.2017. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2017/05/Pravyla-meteorologichnogo-zabezpechennya-tsyvilnoyi-aviatsiyi.pdf>.
2. Карти радаров. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://pogoda.by/thumbnails/?map=radar_map.
3. Максютенко І.Є. Аналіз стану зношеності та динаміки оновлення інформаційно-телекомунікаційних систем на авіаційному транспорті / І.Є. Максютенко // Економіка. Менеджмент. Бізнес. – 2013. – № 2(8). – С. 61-72.
4. Перевезенцев Л.Т. Основные направления развития радиолокационных систем управления воздушным движением / Л.Т. Перевезенцев [Електронний ресурс]. – Режим доступу: jrnل.nau.edu.ua/index.php/visnik/article/download/9312/11566.
5. Світові тенденції розвитку радіолокаційних засобів контролю повітряного простору / О.В. Белавін, В.Й. Климченко, Г.Г. Камалтинов, О.С. Маляренко // Наука і оборона. – 2015. – № 1. – С. 48-53.
6. Климченко В.Й. Аналіз потенційних можливостей оглядових РЛС сантиметрового діапазону хвиль щодо забезпечення дій авіації Повітряних Сил України метеорологічною інформацією / В.Й. Климченко, Г.Г. Камалтинов, В.Л. Місайлов // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 1(25). – С. 21-27.
7. Авер'янова Ю.А. Методологічні засади метеорологічного забезпечення аеронавігації з використанням поляриметричних засобів дистанційного зондування: дис. ... д.т.н. / Ю.А. Авер'янова. – К.: Національний авіаційний університет, 2017. – 325 с.
8. Радиолокационная станция 36Д6М. Эксплуатация и техническое обслуживание РЛС 36Д6М: учеб. пособ. / И.Я. Май, А.Г. Каспирович, В.А. Винник и др. – Запорожье, КЭМЗ "Искра", 2006. – 140 с.
9. Проектирование радиолокационных систем [Електронний ресурс]: моногр. / Д.М. Пиза, Д.С. Семенов, Т.И. Бугрова; под. общ. ред. Д.М. Пизы. – Електрон. дані. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. – 1 електрон.
10. Чорнобородов М.П. Підвищення тактико-технічних характеристик РЛС 79К6 (80К6) "Пелікан" [Текст] / М.П. Чорнобородов // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, 2008. – Вип. 1. – С. 64-67.
11. Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети: коллективная моногр. ИРАМ. – СПб.: Гидрометеоздат, 2002. – 236 с.
12. Автоматизированные метеорологические радиолокационные комплексы «Метеоячейка»: коллективная моногр. ИРАМ. – СПб.: Гидрометеоздат, 2007. – 236 с.
13. Корбан В.Х. Пути развития радиолокационной метеорологии и метеорологической радиолокационной техники / В.Х. Корбан, Д.В. Корбан, Л.Н. Дегтярева // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2016. – № 2. – С. 152-162.
14. Обнаружение и распознавание опасных конвективных процессов радиотехническими средствами / А.А. Аджиева [и др.] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2014. – № 1. – С. 72-75.
15. Информационно-измерительная система для обнаружения опасных метеорологических явлений / А.А. Тихомиров, А.А. Азбукин, В.Ю. Богомолов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – Томск, 2009. – С. 124-128.
16. Степаненко В.Д. Радиолокация в метеорологии / В.Д. Степаненко. – Л.: Гидрометеоздат, 1973. – 344 с.

17. Методические указания по производству метеорологических радиолокационных наблюдений на сети ДМРЛ-С Росгидромета. ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» 2013 г. [Електр. ресурс]. – Режим доступу: http://voeikovmgo.ru/download/publikacii/2014/guidelines_2014_final.pdf.
18. Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике. – М.: Росгидромет, ФГБУ «ЦАО», 2014. – 110 с.
19. Порядок применения автоматизированного метеорологического радиолокационного комплекса «АСУ-МРЛ» в практике штормооповещения и противорадовой защиты. Методические указания. РД 52.37.XXX-2008. – М: Метеоагентство Росгидромета, 2008. – 84 с.
20. Радиозлектронные системы: основы построения и теория: справочн. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Я.Д. Ширман, С.Т. Багдасарян, А.С. Маляренко, Д.И. Леховицкий и др.; под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.
21. Довиак Р. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения / Р. Довиак, Д. Зрнич. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – 512 с.

References

1. “Aviacijni pravyla Ukrainy Meteorologichne obslughovuvannya cyvilnoji aviaciji. Zatverdzheno nakazom Derzhavnoji aviacijnoji sluzhby Ukrainy № 166 vid 09.03.2017” [Aviation rules of Ukraine "Meteorological Services for Civil Aviation". Approved by the order of the Government Aviation Service of Ukraine № 166 of 09.03.2017], <https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2017/05/Pravyla-meteorologichnogo-zabezpechennya-tsyvilnoyi-aviatsiyi.pdf>.
2. “Karti radarov” [Maps of radars], http://pogoda.by/thumbnails/?map=radar_map.
3. Maksiutenko, I.Ye. (2013), “Analiz stanu znoshenosti ta dynamiky onovlennja informacijno-telekomunikacijnykh system na aviacijnomu transporti” [Analysis of Wear Condition and Upgrade Dynamics of Air Transport Information Telecommunication Systems], *Economy. Management. Business*, No. 2(8), pp. 61-72.
4. Perevezentsev, L.T. “Osnovnie napravlenija razvitija radyolokacyonnykh system upravlenija vozdušnim dvizheniem” [Basic Directions of Development of Air Traffic Control Radar Systems], <http://jrm.nau.edu.ua/index.php/visnik/article/download/9312/11566>.
5. Bielavin, O.V., Klymchenko, V. Y., Kamaltynov, G.G. and Maliarenko, O.S. (2015), “Svitovi tendentsiyi rozvytku radiolokacijnykh zasobiv kontroly povitrianoho prostoru” [Global Development Trends of Airspace Control Radar Aids], *Science and defensive*, No. 1, pp. 48-53.
6. Klymchenko, V.Y., Kamaltynov, G.G. and Misailov, V.L. (2011), “Analiz potencijnykh mozhlyvostej oghljadovykh RLS santymetrovogo diapazonu khvylyj shhodo zabezpechennja dij aviaciji Povitrjanykh Syl Ukrainy meteorologichnoju informacijeu” [Performance Potential Review of Centimetric Wave Band Surveillance Radar Stations in regards to Ukrainian Air Force Provision with Meteorological Information], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 1(25), pp. 21-27.
7. Averianova, Yu.A. (2017), “Metodologichni zasady meteorologichnogho zabezpechennja aeronavigacij z vykorystannjam poljarymetrychnykh zasobiv dystancijnogho zonduvannja” [Methodological Principles of the Meteorological Support of Aeronavigation with the Use of Polarimetric Facilities of the Remote Sensing], National Aviation University, Kyiv, 325 p.
8. Mai, I.Ya., Kaspyrovych, A.G. and Vinnik, V.A. (2006), “Radiolokacionnaja stancyja 36D6M. Ekspluatacyja y tekhnicheskoe obsluzhyvanie RLS 36D6M” [Radar Station 36D6M. RLS 36D6M Operation and Technical Maintenance. Educational Guidance], “Iskra”, Zaporozhye, 140 p.
9. Piza, D.M., Semenov, D.S. and Bugrova, T.I. (2017), “Proektirovanie radiolokacionnykh system: monografija” [Radar Systems Design: monograph], National Technical University, Zaporizhzhya.
10. Chornoborodov, M.P. (2008), “Pidvyshhennja taktyko-tekhnichnykh kharakterystyk RLS 79K6 (80K6) "Pelikan" [Tekst]” [79K6 Radar Station Performances Improvement (80K6) "Pelican". Text], *Control, Navigation and Communication Systems*, Central Research Institute of Navigation and Control, Kyiv, No. 1, pp. 64-67.
11. Kollektivnaja monografija IRAM (2002), “Meteorologicheskije avtomatyzirovannije radyolokacyonnye sety” [Meteorological Automated Radar Networks – Multi-Authored Monograph], Hydrometeoizdat, S.-Petersburg, 236 p.
12. Kollektivnaja monografija IRAM (2007), “Avtomatizirovannije meteorologicheskije radiolokacionnie kompleksi "Meteojachejka"” [Automated meteorological Integrated Radar Facilities "Meteoyacheika"– Multi-Authored Monograph], Hydrometeoizdat, S.-Petersburg, 236 p.
13. Korban, V.Kh., Korban, D.V. and Degtiareva, L.N. (2016), “Puty razvytyja radyolokacyonnoj meteorologhy y meteorologicheskoy radyolokacyonnoj tekhniky” [Ways of Development of Radar Meteorology And Meteorological Radar Technique], *Scientific works of ONAZ named after Popov O.S.*, No. 2, pp. 152-162.
14. Adzhyieva, A.A. (2014) “Obnaruzhenye y raspoznnavanye opasnykh konvektivnykh processov radyotekhnicheskymy sredstvamy” [Detection and Recognition of Hazardous Convection Processes with Radio-Technical Facilities], *News of Higher Educational Establishments. North-Caucasus region. Natural sciences*, No. 1, pp. 72-75.
15. Tikhomirov, A.A. Azbukin, A.A. and Boghomolov, V.Yu. (2009), Informacionno-izmyeritel'naja sistema dlja obnaruzhenija opasnykh meteorologicheskikh javlenij” [Information and Measuring System for Hazardous Meteorological Phenomena Detection], *Mountain research and information bulletin (scientific and technical journal)*, Tomsk, No. 1, pp. 124-128.
16. Stepanenko, V.D. (1973), “Radyolokacyja v meteorologhy” [Radiolocation and Meteorology], Hydrometeoizdat, Leningrad, 344 p.
17. (2013), “Metodicheskie ukazaniya po proyzvodstvu meteorologicheskikh radiolokacyonnykh nabljudenij na sety DMRL-S Rosgidrometa. FGhBU "Ghlavnaja gheofizicheskaja observatorija im. A.Y. Voejkova"” [Methodology Guidelines on Radar Monitoring in Roshydromet DMRL-S (Doppler Weather Radar) Network], "Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeikov" http://voeikovmgo.ru/download/publikacii/2014/guidelines_2014_final.pdf.
18. (2014), “Vremennije metodicheskie ukazaniya po ispolzovaniju informacii doplerovskogho meteorologicheskogho radiolokatora DMRL-S v synopticheskoy praktyke”, [Interim Methodology Guidelines on the Use of DMRL-S Doppler Weather Radar Information in Synoptic practice], Roshydromet, FGBU "CAO", Moscow, 110 p.
19. (2008), “Porjadok primenenija avtomatizirovannogho meteorologicheskogho radyolokacionnogho kompleksa "ASU-MRL" v praktike shtormoopoveshhenija i protyvoghradovoj zashhiti. Metodicheskie ukazaniya. RD 52.37.XXX-2008”, [Procedure

for Application of ASU-MRL Automated Weather Radar Facility in Storm Warning and Hail Guard Practice. *Methodology Guidelines RD 52.37.XXX-2008*], Roshydromet Metoagentstvo, Moscow, 84 p.

20. Shygtman, Ya.D., Bagdasaryan, S.T., Malyarenko, A.S. and Lekhovytksjy, D.I. (2007), "Radioelektronnyie sistemy: osnovni postroeniya i teoriya. Spravochnyk. Yzd. 2-e, pererab. i dop.", [Radioelectronic Systems: Fundamentals and Theory. Reference book. Publ. 2, amended], Radio Engineering, Moscow, 512 p.

21. Doviak, R. and Zrnich, D. (1988), "Doplerovskie radyolokatori y meteorologhicheskie nabljudeniya", [Doppler Radars and Meteorological Observations], Hydrometeoizdat, Leningrad, 512 p.

Надійшла до редколегії 22.06.2018
Схвалена до друку 17.07.2018

Відомості про автора:

Атаманський Дмитро Володимирович
кандидат технічних наук доцент
доцент
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8705-8584>

Information about the author:

Dmytro Atamanskiy
Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Senior Lecturer
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8705-8584>

**ПЕРСПЕКТИВНАЯ СЕТЬ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СРЕДСТВ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВИАЦИИ**

Д.В. Атаманский

Определяется современное состояние радиолокационной составляющей существующей сети специализированных средств метеорологического обслуживания авиации, которая содержит импульсные доплеровские метеорологические радиолокаторы и аэродромные радиолокационные комплексы с каналами обработки отражений от метеообразований. Предоставляются расчеты радиолокационного поля, которое создается этой сетью. Показывается, что она не обеспечивает нужное сплошное радиолокационное покрытие на всех заданных высотах. Обосновываются предложения по созданию сплошного метеорологического радиолокационного поля на основе перспективной сети метеорологических радиолокационных средств, в которую к существующему парку импульсных доплеровских метеорологических радиолокаторов приобщены радиолокационные средства сантиметрового диапазона с каналами обработки метеосигналов. Анализируются возможности радиолокационных средств радиотехнических войск (РТВ) относительно способности ведения радиолокационной метеорологической разведки и выдачи радиолокационных данных об опасных для авиации явлениях природы при условии их оснащения каналами обработки сигналов, отраженных от метеообразований. Определяются потенциальные возможности указанных радиолокационных средств по обнаружению и распознаванию метеоявлений различных типов и метеообразований разных форм, а также необходимые технические условия, при которых возможна реализация этих возможностей. Показано, что радиолокационные средства РТВ сантиметрового диапазона волн могут рассматриваться как основные источники метеоинформации при создании локальной военной метеосети предупреждения об опасных явлениях природы, или как источники дополнительной информации при их интеграции в Национальную интегрированную информационную сеть гидрометеорологического обеспечения и обслуживания, которую планируют создать на Украине. Предоставляются расчеты радиолокационного поля, которое создается предложенной сетью метеорологических радиолокационных средств.

Ключевые слова: радиолокационные средства, метеосигналы, метеосеть, радиолокационное поле.

ADVANCED NETWORK OF RADAR AIDS TO AVIATION METEOROLOGICAL SERVICES

D. Atamanskyi

The current radar component status of the available network of specialised aids to aviation meteorological services is identified, which comprises pulse Doppler weather radars and terminal radar facilities with processing channels of moisture target reflections. Calculations of the radar field created by this network are provided. It is demonstrated that the network does not ensure the required complete radar coverage at all specified altitudes. Proposals are substantiated in regard to creation of complete meteorological radar field based on an advanced network of meteorological radar aids that would be supplemented, beside the available fleet of pulse Doppler weather radars, with radar aids of centimetric band with meteorological signal processing channels. Abilities of the radio-technical troops' (RTT) radar aids are reviewed regarding their capability to carry out a radar meteorological reconnaissance and deliver radar data on natural phenomena hazardous for aviation under condition of them being equipped with the channels that process signals reflected from the moisture targets. Performance potential of the mentioned radar aids is identified concerning detection and recognition of meteorological phenomena of different types and moisture targets of different forms, as well as the required technical conditions under which this potential can be implemented. It is demonstrated that RTT radar aids of centimetric wave band can be considered as the basic sources of meteorological information in the process of establishing a local military meteorological network for warning about hazardous natural phenomena or as sources of additional information if they are integrated into the National Integrated Information Network of Hydrometeorologic Support and Service, which is planned to be established in Ukraine. Calculations of the radar field created by the proposed network of meteorological radar aids are provided.

Keywords: Radar aids, meteorological signals, meteorological network, radar field.