

УДК (621.396)

Д.А. Гриб, Б.В. Бакуменко, О.В. Зайцев

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ВИБІР ПОКАЗНИКІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ МУЛЬТИРАДАРНИХ СИСТЕМ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВІЙСЬК

В наслідок розвитку системи радіолокаційної розвідки радіотехнічних військ в мультирадарну систему, з'являються нові можливості, на самперед в веденні радіолокаційної розвідки та здобуванні інформації про повітряну обстановку. В статті проведено аналіз існуючих показників оцінки якості радіолокаційної інформації, обґрунтовується необхідність визначення показника (показників) для оцінки якості радіолокаційної інформації мультирадарної системи радіолокаційної розвідки та запропонований показник для оцінки мультирадарної системи радіотехнічних військ.

**Ключові слова:** мультирадарні системи, мультирадарна обробка, показники якості радіолокаційної інформації.

### Вступ

**Постановка проблеми.** В світі визначилась тенденція ведення збройної боротьби з використанням мережецентричних технологій для управління засобами повітряного нападу (ЗПН), що утворює єдиний інформаційний бойовий комплекс [1]. Для боротьби з засобами (далі – цілі), які управляються такими технологіями необхідна система радіолокаційної розвідки (СРЛР), яка забезпечить своєчасне виявлення цілей і націлювання на них засобів поразки.

СРЛР повітряного простору розвиваються у напрямку інтегрування різнотипних первинних джерел радіолокаційної інформації (далі – первинні джерела) в мультирадарні СРЛР (далі – МРСРЛР) [1, 8]. Мультирадарна система (МРС) (Multi-radar systems) це система, яка використовує більше одного радіолокаційного джерела і має здатність приймати, обробляти та відображати в інтегрованій формі дані від усіх задіяних радіолокаційних джерел.

Радіотехнічні війська (РТВ) – основне джерело радіолокаційної інформації про повітряну обстановку (далі – РЛІ) в Збройних Силах України, тому втілення цих технологій саме в СРЛР РТВ є актуальним завданням.

В мультирадарній автоматизованій системі збору, обробки і видачі інформації (АС ЗОІ), яка надходить на озброєння РТВ, об'єднання РЛІ здійснюється на рівні траєкторій. Сучасні технології дозволяють реалізувати та використовувати методи мультирадарної обробки на рівні радіолокаційних сигналів (далі – МРО), в тому числі оглядових радіолокаційних станцій (далі – РЛС).

Методики оцінки показників якості РЛІ для існуючої СРЛР достатньо обґрунтовані і на практиці їх використовують у залежності від завдань, що стоять перед радіотехнічними підрозділами та частинами РТВ. Методики оцінки показників якості РЛІ для використання МРС достатньо не опрацьовані.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вибору показників оцінки якості РЛІ в СРЛР присвячена значна частина наукових робіт. Ці показники розглядаються самостійно і у сукупності з показниками ефективності вищої системи – системи протиповітряної оборони (ППО) і системи управління ППО [4, 5].

До якості інформації висуваються такі основні вимоги: своєчасність, повнота, точність і достовірність. Тому найбільш використовуваними є наступні часткові і комплексні показники якості РЛІ [2, 3, 5 – 8]:

1) просторові розміри ( $d_{hi}$ ), або площа ( $S_{hi}$ ) суцільного РЛІ вздовж визначених рубежів і над територією (об'єктами), угрупованнями військ, морською поверхнею, які оцінюються окремо по різних висотам, особливо для малих висот та у гірській місцевості;

2) час запізнення РЛІ  $t_{зплі}$  який характеризує своєчасність видачі донесень  $\bar{\Gamma}$ , про локаційну ціль, з моменту її входу в зони виявлення РЛС (перетинання нею встановлених рубежів) до моменту отримання донесень на приймальних засобах споживачів (автоматизованих робочих місцях (АРМ), індикаторах колового огляду (ІКО), планшетах ...). Оцінка показника особливо важлива для вибору варіанту видачі РЛІ споживачам в межах малих висот і по швидкісним цілям;

3) коефіцієнт повноти інформації  $Q$  – відношення кількості характеристик цілі, що здобуті, до кількості характеристик цілі, що необхідно здобути, кількісно характеризує повноту даних і при відомій множині характеристик дозволяє кількісно оцінювати РЛІ при вирішенні задач розпізнавання;

4) показник точності РЛІ  $\sigma_i$  – середньоквадратичні помилки визначення (прогнозування) координат, поточних характеристик цілей;

5) показники якості виявлення – ймовірність правильного виявлення ( $P_{пв}$ ) та ймовірність хибної тривоги ( $P_{хт}$ ) характеризують достовірність РЛІ;

6) кількість одночасно зав'язуваних трас  $N_{тр}$ , час зав'язування траси  $t_з$ , коефіцієнт хибних трас

$K_{xt}$ , середній час існування хибних трас  $t_{xt}$ , цикл огляду простору  $t_{цo}$  та інші показники обробки і передачі РЛП характеризують якість процесу автоматизованої обробки РЛП;

7) кількість одночасно супроводжуваних цілей  $N_{ц}$  – характеризує продуктивність по обробці даних про цілі, що виявляються в межах РЛП;

8) коефіцієнт проводки цілі  $K_{пров}$ , який є відношенням довжини шляху супроводження локаційної цілі командними пунктами (КП), підрозділами РТВ в зонах виявлення РЛС, інформації підрозділу, або межах радіолокаційного поля (далі РЛП), до довжини шляху знаходження цілі в цих зонах (межах);

9) коефіцієнт перекриття (кратність перекриття) РЛП ( $K_{п}$ ) – чим більший  $K_{п}$ , тим вище імовірності виявлення цілей. В роботі [2] раціональна побудова угруповання РТВ знаходиться за показником імовірності виявлення цілей  $P_{вв} > P_{ввз}$  декількома РЛС при обмеженнях на інші параметри;

10) багатомірний критерій якості РЛП  $\{\mu, \chi, \sigma_{xy}\}$ , складений з показників повноти ( $\mu$ ) ( $\mu = \langle M \rangle / M_0$ , де  $\langle M \rangle$  – математичне сподівання числа відображених трас,  $M_0$  – загальна кількість трас), достовірності ( $\chi$ ) ( $\chi = M_{xt} / M_0$ , де  $M_{xt}$  – кількість хибних трас,  $M_0$  – загальна кількість трас), точності ( $\sigma_{xy}$ ) ( $\sigma_{xy}$  – середньо квадратичні помилки визначення (прогнозування) координат) використовується для комплексної оцінки угруповання РТВ;

11) показниками якості обробки РЛП в МРСРЛР в роботах [7, 8] обираються: зона дії (робоча зона, просторові розміри ( $d_{hi}$ ), або площа ( $S_{hi}$ ) суцільного РЛП вздовж визначених рубежів) із заданими показниками якості (ймовірності правильного виявлення ( $P_{пв}$ ) та хибної тривоги ( $P_{xt}$ ), середній час виявлення та безперервного супроводження вірної траси, помилки визначення координат) для різних режимів роботи МРС (виявлення цілей, виявлення трас, супроводження цілей, вимірювання координат та ін.).

В короткому аналізі неможливо розглянути повну групу показників оцінки якості РЛП (далі – показників). Проведений короткий аналіз літератури показує, що не завершено на даний час формування єдиної системи показників та критеріїв оцінки якості РЛП в СРЛР РТВ, у тому числі для порівняння варіантів МРСРЛР, і потребує подальшого дослідження.

**Метою статті** є постановка задачі визначення показника (показників) для оцінки якості РЛП МРСРЛР радіотехнічних військ.

## Основний матеріал

Використання одного, будь-якого з розглянутих показників обмежено многогранністю задач, що вирішуються при веденні радіолокаційної розвідки (РЛР), для оцінки яких показники мають певні недоліки:

1)  $d_{hi}$  обчислюється для фіксованих параметрів виявлення цілей;

2)  $t_{зрлі}$  не враховує повноту інформації, що пе-

редається та потребує окремого аналізу по її складовим;

3)  $Q$  потребує детального врахування багатьох умов оцінки параметрів цілі;

4)  $\sigma_i$  – один з основних показників якості РЛП, вимоги до його значень в МРСРЛР остаточно не сформовані;

5) просторова оцінка  $P_{пв}$  та  $P_{xt}$  дозволяє оцінити РЛП через енергетичну наповненість РЛП, яка необхідна для оцінки МРСРЛР;

6)  $N_{тр}$ ,  $t_3$ ,  $K_{xt}$ ,  $t_{xt}$ ,  $t_{цo}$  використовуються для оцінки якості засобів АСУ без оцінки джерел РЛП. Їх потрібно використовувати для оцінки МРСРЛР, що доповнить оцінку первинних джерел і засобів обробки РЛП;

7)  $N_{ц}$  оцінюється окремо від оцінки повноти РЛП і характеризує, в більшості випадків тільки обчислювальні можливості автоматизованих систем управління та комплексів засобів автоматизації (далі – АСУ) СРЛР;

8)  $K_{пров}$  використовують для оцінки результатів роботи по видачі РЛП про реальним або імітованим (змодельованим) цілям – оцінюється якість роботи системи РЛР виключно після її закінчення;

9)  $K_{п}$  є важливою характеристикою поля МРО (далі – ПМРО), але при використанні  $K_{п}$  для знаходження  $P_{вв}$  упускається залежність ймовірностей виявлення від напрямку польоту цілей, яку потрібно враховувати при об'єднанні РЛП від різних РЛС на рівні вимірювань. Просторова оцінка  $P_{вв}$  у реальному часі вимагає використання складних математичних методів і обчислювальних потужностей;

10) багатомірний критерій  $\{\mu, \chi, \sigma_{xy}\}$  раціонально використовувати для оцінки якості РЛП отриманої в результаті випробувань, або моделювання, при відомих варіантах повітряної обстановки, однак використання цього підходу для формування оцінок РЛП в реальному масштабі часу потребує накопичення достатніх баз знань;

11) запропоновані показники достатньо повно оцінюють якість обробки РЛП в МРСРЛР, однак в цілому показників суттєво чутливих до її ефективності не надається.

На практиці групи показників та методику оцінювання РЛП обирають експертним методом, використовують просторові ( $D_i$ ,  $H_i$ ) та окремі інформаційні (функціональні) показники ( $N_{ц}$ ,  $t_{зрлі}$ ,  $\sigma_{xy}$  ...). Перевага таких методик полягає у зручності та оперативності користування, недоліком є неврахування багатьох особливостей забезпечення різних споживачів РЛП, оцінка більших особливостей вимагає більшого часу, що призводить до втрати своєчасності [4].

Об'єднання та обмін РЛП від різних первинних джерел для проведення МРО здійснюється на рівні траєкторій, відміток, сигналів (відео або радіо) [8].

В існуючій практиці побудови комплексів засобів автоматизації (КЗА) використовуються методи об'єднання РЛП на рівні траєкторій, які дозволяють

здійснювати об'єднання і обробку РЛІ в умовах стійкого виявлення і супроводження цілей кожним з джерел, що підключені до КЗА. В умовах неповного епізодичного спостереження більш ефективним є метод обробки і об'єднання РЛІ на рівні відміток.

Для забезпечення супроводження цілей в умовах пропусків, втрат інформації, коли кількість вірних виявлень цілі менше критерію зав'язування траси, застосовують методи об'єднання РЛІ на рівні сигналів.

Для вирішення завдання класифікації і розпізнавання цілей необхідно об'єднання РЛІ на рівні вимірювань первинних та/або вторинних ознак цілей виявлених рознесеними первинними джерелами РЛІ (далі – джерела) об'єднаних в одну МРСРЛР.

Застосування таких методів в існуючій системі РЛР можливо шляхом реалізації синхронізації РЛІ від різних первинних джерел і організації об'єднання і обміну РЛІ між всіма джерелами.

Аналіз показав – в таких системах будуть отримані кращі значення показників точності і повноти РЛІ. Використання методів обробки РЛІ, що враховують матриці помилок первинних джерел дозволяють зменшити помилки вимірювання координат цілі в декілька разів [7, 8].

Зменшення  $t_{зрлі}$  веде до наближення рубежів видачі РЛІ ( $d_{рлі}$ ) споживачам до потрібних і дозволяє збільшувати час на прийняття рішень і аналіз РЛІ. Цей показник обраний для оцінки переваг МРСРЛР. На значення цього показника особливо впливає час зав'язування траєкторії  $t_{зтр}$ , час обробки  $t_{обрлі}$ , час об'єднання РЛІ  $t_{об'єднання}$ . Наприклад, для періоду огляду РЛС 10 секунд середній час затримки  $t_{зтр}$  досягає 30...50 секунд. При виявленні та супроводженні цілей на середніх та великих висотах, з дозвуківими та білязвуківими швидкостями значення цього показника задовольняє споживачів РЛІ. В межах малих висот та при більших швидкостях цілі  $t_{зтр}$  не задовольняє споживачів, а при діях ЗПН на гранично малих висотах мінімізація значення цього показника стає вкрай критичним для супроводження цілі. Для ілюстрації цього прикладу проведено розрахунки потрібного рубежу видачі РЛІ для ЗРК середньої дальності, для умов:  $H_{ц}=100$  м,  $V_{ц}=250$  м/с, ЕПР цілі 1 кв. м, курс цілі – на позицію ЗРК, РЛІ об'єднується в єдиній АСУ.

Потрібний рубіж видачі РЛІ  $d_{рлі}$  для поразки такої цілі

на ближній та на дальній межі зони поразки обчислюється за відомими складовими:

$$d_{рлі}=d_{д}+V_{ц}(t_{зрлі}+t_{р}+t_{обрлі}),$$

де  $d_{д}$  – горизонтальна дальність до ближньої, або горизонтальна дальність до дальньої межі зони поразки;  $V_{ц}$  – швидкість цілі;  $t_{р}$  – час польоту ракети до ближньої, або до дальньої межі зони поразки;  $t_{обрлі}$  – середній час обробки РЛІ ЗРК.

При застосуванні МРСРЛР можливо впливати на  $t_{зрлі}$  шляхом забезпечення зав'язування траси за ознаками цілі при другому виявленні, а при наявності апріорної інформації – банку даних про цілі і з першого виявлення [7, 8].

Потрібний рубіж видачі РЛІ для варіанту об'єднання РЛІ на рівні трас і на рівні ознак приведений на рис. 1 – риси 1 і 2 відповідно. Межі РЛІ та поля МРО позначено відповідно 4 та 5. Зона поразки ЗРК позначена рисою 3. Сектора в яких не можлива реалізація бойових можливостей ЗРК, за умов об'єднання РЛІ на рівні трас, позначено  $\alpha$  та  $\beta$ .

За умов зав'язування траси за ознаками цілі, площа РЛІ ( $S_{100}$ ), яке створюється для забезпечення  $d_{рлі}$ , в 1,32 рази менше ніж площа РЛІ, яку необхідно створити за умов об'єднання РЛІ на рівні трас. Виграш в площі РЛІ позначений штрихпунктирними лініями.

Виграш в площі реалізованої зони поразки позначений штриховкою (суцільні лінії), та в залежності від обставин що склалися, для одного зрлн (без

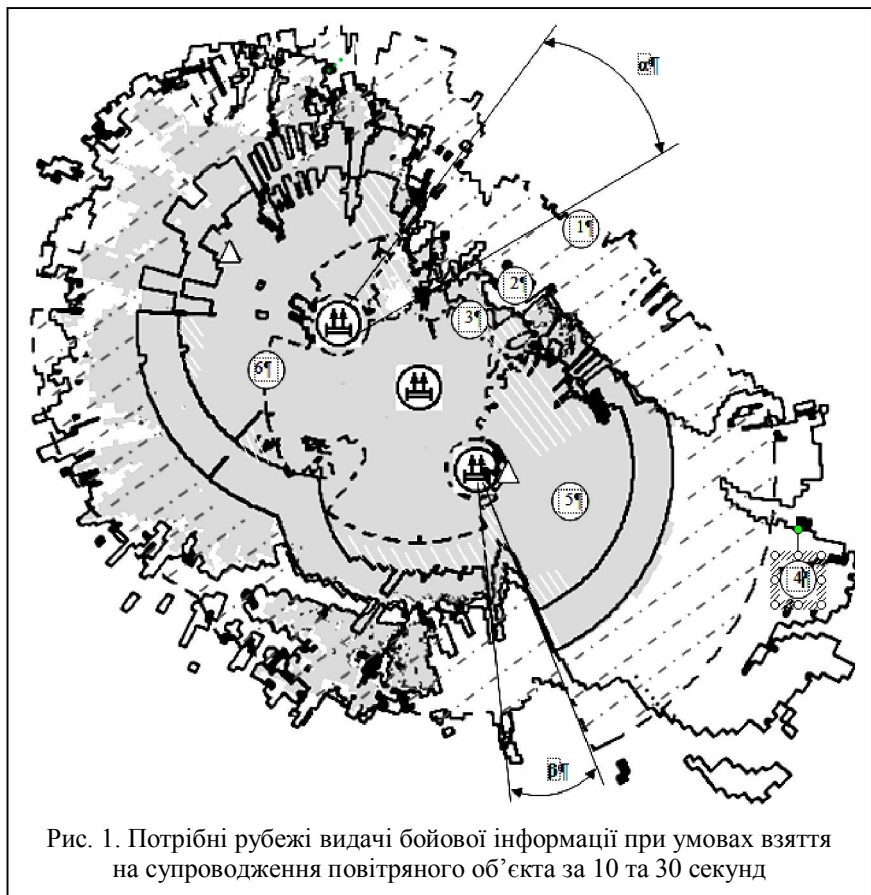


Рис. 1. Потрібні рубежі видачі бойової інформації при умовах взяття на супроводження повітряного об'єкта за 10 та 30 секунд

урахування перекриття реалізованих зон поразки – риса б), може досягати значення, до двох разів від площі реалізованої зони поразки при об'єднанні РЛП на рівні трас.

Реалізація в перспективних елементах АСУ методів об'єднання РЛП на рівні вимірювань первинних та/або вторинних ознак дозволить збільшити час на аналіз РЛП до 20 с, зменшити час взяття на супроводження цілі до одного огляду РЛС.

В розглянутому випадку  $t_{зрлі}$  може виступати, як параметр для комплексного показника –  $d_{рлі}$ , і забезпечувати оцінку переваг МРСРЛР.

### Висновки

Створення МРСРЛР РТВ потребує визначення показників для оцінки якості РЛП МРСРЛР РТВ, що є неодмінною умовою формування вимог до первинних джерел радіолокаційної інформації. Існуючі показники якості РЛП можуть забезпечити оцінку МРСРЛР, але потребують об'єднання в єдину методику, з урахуванням особливостей МРО РЛП.

Для об'єднання РЛС в МРСРЛР необхідно створювати технічні системи, які забезпечать здобування, об'єднання, обмін РЛП між джерелами по всім відміткам, що знаходяться в ПМРО, з урахуванням особливостей виявлення різних РЛС.

Для реалізації методів обробки РЛП в полі МРО необхідно створювати мережі первинних джерел РЛП і забезпечувати їх синхронізацію з точністю, що дозволяє об'єднувати РЛП. Для цього необхідно модернізувати та створювати РЛС з технічними можливостями роботи в системі єдиного часового забезпечення.

Можливість створення ПМРО вплине на тактику застосування РТВ і дозволить: формувати ПМРО над важливими об'єктами, зонами, рубежами, з значно кращими характеристиками по виявленню, супроводженню і класифікації цілей ніж в існуючій

системі; створювати приховані, резервні РЛП з характеристиками основного РЛП.

Це дозволить забезпечити виконання завдань РЛР та зменшити простір, де бойові можливості споживачів РЛП не можуть бути реалізовані із-за несвоєчасного її надходження.

### Список літератури

1. Прогнозування напрямків змін вимог до озброєння та військової техніки протиповітряної оборони / Д.А. Гриб, Б.І. Нізієнко, А.М. Печкін, М.Р. Арасланов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2009. – № 2(2). – С. 25-30.
2. Моделювання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку): моногр. / В.П. Городнов, Г.А. Дробаха, М.О. Єрмошин, Є.Б. Смірнов, В.І. Ткаченко. – Х.: ХВУ, 2004. – 372 с.
3. Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Торпчин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник, Р.Е. Пащенко та ін. – К.: МО України, Х.: ХВУ, 2003. – 368 с.
4. Елементи дослідження складних систем військового призначення / О.М. Загорка, С.П. Мосов, А.І. Сбитнев, П.І. Стужук. – К.: НАОУ, 2005. – 100 с.
5. Основи побудови радіолокаційного вооруження РТВ / под ред. В.В. Литвинова. – Х.: ВИРТА ПВО. – 1986. – 348 с.
6. Тактика радіотехнічних військ, навчальний посібник / за загальною ред. Б.В. Бакуменка. – Х.: ХУ ПС, 2007. – 227 с.
7. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей: пер. с англ. / А. Фарина, Ф. Студер. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
8. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация / В.С. Черняк. – М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.

Надійшла до редколегії 14.06.2010

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

### ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ МУЛЬТИРАДАРНЫХ СИСТЕМ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ВОЙСК

Д.А. Гриб, Б.В. Бакуменко, А.В. Зайцев

*В результате развития системы радиолокационной разведки радиотехнических войск в мультирадарную систему, появляются новые возможности, в первую очередь в ведении радиолокационной разведки и добычании информации про воздушную обстановку. В статье проведен анализ существующих показателей оценки качества радиолокационной информации, обосновывается необходимость определения показателя (показателей) для оценки качества радиолокационной информации мультирадарной системы радиолокационной разведки и предложен показатель для оценки мультирадарной системы радиотехнических войск.*

**Ключевые слова:** мультирадарные системы, мультирадарная обработка, показатели качества радиолокационной информации.

### CHOICE OF MULTI-RADAR SYSTEM RADAR INFORMATION EVALUATION PARAMETERS OF RADAR TROOPS

D.A. Grib, B.V. Bakumenko, A.V. Zaytsev

*As a result of radar troops reconnaissance system development into a multi-radar system new possibilities of radar reconnaissance and air situation information gathering have appeared. The article deals with the analysis of existing ways of radar information quality evaluation, the necessity of parameters selection for a multi-radar system radar information quality evaluation is proved. The parameter for radar troops multi-radar system evaluation is proposed.*

**Keywords:** multi-radar systems, multi-radar processing, quality parameters of radar information.