

# Розвиток, бойове застосування та озброєння радіотехнічних військ

УДК 355.58

О.М. Колеснік<sup>1</sup>, М.В. Бардаков<sup>1</sup>, Л.В. Бейліс<sup>2</sup>, В.М. Крищенко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

<sup>2</sup> Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця

<sup>3</sup> Головний командний центр Збройних Сил України, Київ

## ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ ОПЕРАТИВНОГО РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ПОЛЯ

*Проводиться огляд методів та моделей розрахунку параметрів зон виявлення РЛС РТВ. Пропонуються пропозиції щодо покращення якості оцінки параметрів радіолокаційного поля угруповання РТВ.*

**Ключові слова:** радіолокаційна станція, зона виявлення, маловисотні цілі.

### Вступ

Як показує досвід проведення антитерористичної операції та локальних конфліктів останнього десятиріччя, удосконалення кількісних та якісних характеристик засобів повітряного нападу, збільшення кількості безпілотних малорозмірних літальних апаратів приводить до ускладнення повітряно-завадової обстановки [1]. В таких умовах постає питання адекватного оцінювання параметрів маловисотного радіолокаційного поля, яке створює угруповання радіотехнічних підрозділів. Оцінювання параметрів маловисотного радіолокаційного поля передбачає використання відповідної методики та моделі для розрахунку зон виявлення радіолокаційних станцій (РЛС), у тому числі нових та модернізованих, які мають розширені можливості з управління режимом огляду повітряного простору.

В практиці радіотехнічних військ найбільше поширення отримали математичні моделі, які побудовані за графоаналітичними та аналітичними методами розрахунків показників бойових можливостей (наприклад, інформаційно-розрахункова система (ІРС) «Оберіг», «Віраж-РД») [2]. В основу графоаналітичної методики розрахунку просторових показників бойових можливостей частин і підрозділів РТВ у ІРС «Оберіг» покладається розрахунок параметрів зон виявлення окремих радіолокаційних засобів з урахуванням затінюючих властивостей рельєфу місцевості та поєднання окремих зон виявлення у радіолокаційне поле. На жаль в існуючій ІРС «Оберіг» застосовуються обмеження з врахування впливу підстелаючої поверхні в точці стояння РЛС на форму діаграми направленості антени РЛС, які приводять до помилки в оцінці можливостей з ви-

явлення цілей на малих та гранично малих висотах. Найбільша помилка буде спостерігатися для випадків, коли рельєф місцевості на позиції РЛС істотно відрізняється від полігонного, для якого відома форма ДНА у вертикальній площині (наведена у формулярі).

Таким чином, при використанні інформаційно-розрахункових систем побудованих на графоаналітичній методиці, за рахунок обмеження деталізації при проведенні розрахунків, у першу чергу відмови від оцінки змін параметрів діаграми направленості (ДНА) РЛС у вертикальній площині для обраної позиції, отримують потрібну оперативність розрахунків. У статті проаналізовано можливості існуючих методів та моделей розрахунку параметрів зон виявлення РЛС РТВ та можливі напрямки удосконалення існуючих моделей для покращення оперативної оцінки параметрів зон виявлення РЛС РТВ на малих та гранично малих висотах.

### Основна частина

На існуючий час розроблена велика кількість методів та моделей для оцінки параметрів зон виявлення РЛС РТВ. Вони відрізняються потрібним обсягом вихідної інформації, точністю розрахунку, ступенем автоматизації та оперативністю оцінки. Загалом вони поділяються на експериментальні, розрахунково-приладові та розрахункові [3].

До експериментальних методів відносять методи, які дозволяють визначити параметри окремих частин зон виявлення РЛС за допомогою прямих вимірів при обльоті позицій підрозділів спеціально призначеними літальними апаратами. Перевага такого методу – висока достовірність отриманих результатів. Недолік – велика вартість та часові витрати.

Найбільш повне врахування факторів, які впливають на параметри зони виявлення РЛС здійснюється при використанні розрахунково-приладового методу, який ґрунтується на використанні апріорної та поточної інформації об рівнях сигналів та завад у приймальному пристрої РЛС. Недоліком такого методу є великі матеріальні витрати (необхідність використання спеціальної апаратури при проведенні вимірів) та великий час на підготовку вихідних даних.

Розрахункові методи не потребують великих матеріальних витрат, але вони відрізняються достовірністю та оперативністю розрахунків. Вони теж поділяються на три групи: до першої відносяться спрощені розрахункові методи, які не враховують характер місцевості в точці стояння РЛС. Таки методики використовують за умови проведення розрахунку для гладкої земної поверхні.

Другу групу складають методи, які враховують як затінювачі, та і відбиваючі властивості місцевості позиції РЛС, які дозволяють враховувати вплив характеру місцевості на форму ДНА РЛС і які також умовно поділяють на методи фізичної та геометричної оптики [4, 5].

Методи фізичної оптики найбільш точні та трудомісткі, тому що враховують велику кількість факторів, що впливають на форму ДНА РЛС. Найбільша складність - це адекватність опису процесу перевідбиття електромагнітної хвилі від нерівної та не однорідної земної поверхні. Таки моделі використовують принцип Киргофа-Гюйгенса [5] для розрахунку наведених на поверхні землі токів та наведеного вторинного поля в точці простору. На початку 80-х років минулого століття у ВІРТА ім. Говорова (нині Харківський університет Повітряних Сил – далі ХУПС) за таким методом була запропонована модель розрахунку «результуючої» ДНА РЛС над складною нерівною земною поверхнею [3]. Головним недоліком моделі була складність підготовки вихідних даних, низька точність та великі обмеження при побудові моделі рельєфу. Тому методи фізичної оптики для оперативного розрахунку параметрів ДНА РЛС РТВ на даний час майже не використовуються.

Більш простими та розповсюдженими є методи геометричної оптики, які використовують спрощений (приблизний) опис процесів перевідбиття та розсіювання електромагнітних хвиль земною поверхнею. Однією з розповсюджених моделей є фацетна модель перевідбиття електромагнітних хвиль. Для побудови моделі розрахунку електромагнітного поля в точці простору, наведеного перевідбитими хвилями від земної поверхні, вона представлялась у вигляді сукупності плоских поверхонь (фацет), розміри яких значно перевищували довжину хвилі зондуючого сигналу РЛС [5]. Модифікація фацетної моделі наприкінці 90-х років минулого століття у

ХУПС дозволила розробити методику розрахунку ДНА РЛС РТВ та розраховувати рівень відбитків від місцевих предметів, які формують так звану «розу місцевих предметів» для РЛС РТВ [6]. Головним недоліком фацетної моделі є низька оперативність, складність розрахунків та недостатня точність, яка обумовлена спрощеннями представлення рельєфу місцевості (двовірна модель профілю місцевості позиції РЛС, яка формує перевідбиття електромагнітних хвиль).

До третьої групи розрахункових методів відносяться методи, які враховують лише затінювачі властивості рельєфу місцевості. Таки методики найбільш розповсюджені та реалізовані в інформаційно-розрахункових системах «Оберіг», «Аргумент» та забезпечують проведення оперативних розрахунків. В цих методиках не враховують зміни форми ДНА РЛС у вертикальній площині при відмінності позиції від полігонного рельєфу, що значно знижує точність результатів для малих та гранично малих висот польоту цілей, особливо для РЛС метрового діапазону хвиль (для середньо-пересіченої місцевості для малих висот помилка може досягати 20 відсотків дальньої межі зони виявлення).

Перелічені методи та методики третьої групи найбільш розповсюджені та використовуються на практиці з урахуванням оперативності отримання результатів та достатньої для практики точності розрахунків. Однак в сучасних умовах вони не враховують у повній мірі відбиваючих властивостей підстилаючої поверхні та нові можливості щодо управління режимами огляду повітряного простору та параметрами зон виявлення для нових та модернізованих РЛС РТВ (управління нахилом антени, висотою підняття фазового центру антени), що у свою чергу впливає на точність оцінки можливостей виявлення малорозмірних та маловисотних повітряних цілей.

Таким чином, з усього переліку методів та методик розрахунку зон виявлення РЛС РТВ найбільш перспективними є розрахункові, які реалізують методи геометричної оптики та враховують відбиваючі властивості рельєфу місцевості позиції (враховують вплив рельєфу позиції на форму ДНА у вертикальній площині). Для врахування вказаних недоліків бажано поєднати оперативну розрахункову графоаналітичну методику оцінки параметрів зон виявлення РЛС РТВ з методикою оцінки параметрів ДНА РЛС у вертикальній площині, яка повинна враховувати зміни форми ДНА для кожного азимутального напрямку при зміні характеру рельєфу в межах зони суттєвої для формування ДНА.

З урахуванням особливостей формування ДНА РЛС в метровому діапазоні хвиль, найбільш важливо оцінювати відмінності паспортної форми ДНА РЛС від реальної для РЛС метрового діапазону хвиль. Сукупна ДНА антени РЛС метрового діапа-

зону хвиль являє собою добуток ДНА антени у вільному просторі  $F_0(\varepsilon)$  та інтерференційного множника Землі  $\Phi(\varepsilon)$  [7]:

$$F(\varepsilon) = F_0(\varepsilon) \cdot \Phi(\varepsilon). \quad (1)$$

За ідеальних умов, коли максимум ДНА  $F_0(\varepsilon)$  орієнтований впродовж лінії горизонту, тобто  $\varepsilon_m = 0$ , інтерференційний множник Землі описується спрощеним співвідношенням, яке є справедливим для усього діапазону зміни кутів місця  $0^\circ \leq \varepsilon \leq 90^\circ$ :

$$\Phi(\varepsilon) = 2 \cdot \left| \sin \left( 2\pi \frac{h_a}{\lambda} \cdot \sin \varepsilon \right) \right|. \quad (2)$$

Таким чином, розрахунок інтерференційного множника для оцінки вертикального перерізу діаграми направленості антени РЛС метрового діапазону хвиль є необхідною умовою для оцінки параметрів зони виявлення РЛС особливо на малих та гранично малих висотах.

Як показує практика, для збільшення оперативності розрахунків, замість повного розрахунку перерізу ДНА у вертикальній площині методами фізичної оптики, можливо використовувати спрощену розрахункову методику, яка дозволяє частково врахувати зміни у форми нижньої крайки зони виявлення РЛС РТВ. Розглянемо особливості такої розрахункової графоаналітичної методики визначення параметрів зони виявлення РЛС та можливі напрямки її вдосконалення [6, 8].

В основу розрахункової методики визначення параметрів ЗВ РЛС покладено розрахунок енергетичної насиченості  $W$  в заданих точках простору. При розрахунках визначається очікувана потужність сигналу  $P_{пр}$ , відбитого від цілі з ефективною поверхнею розсіяння  $\sigma_{ц}$ , яка летить на заданій висоті  $H_{ц}$  на відстані  $r$  від РЛС. У розрахунках використовуються горизонтальний  $F(\beta)$  і вертикальний  $F(\varepsilon)$  перерізи функції  $F(\beta, \varepsilon)$ , тобто ДНА представляється у вигляді  $F(\beta, \varepsilon) = F(\beta)F(\varepsilon)$ . Фактично використовується окрема завчасно розрахована нормована ДНА РЛС, яка в загальному випадку замінюється формулярною (полігонною).

При цьому розрахована потужність порівнюється з граничною  $P_{пр, \min}$ , що знаходиться з урахуванням спектральної щільності потужності власних шумів приймального тракту  $N_0$ , ширини смуги пропускання  $\Delta f_{пр}$  приймача РЛС, граничного значення параметра виявлення  $q^2$ , обумовленого заданими умовними ймовірностями правильного виявлення  $D$  і хибної тривоги  $F$  [7]:

$$W = \frac{P_{пр}}{P_{пр, \min}} = \frac{P_{пр}}{0,5q^2 N_0 \Delta f_{пр}}. \quad (3)$$

Якщо отримане значення енергетичної насиченості простору  $W$  є більшим за граничний рівень, то вважається, що виявлення є в принципі можливим при забезпеченні прямої радіовидимості заданої точки простору.

Однак знайдене значення  $W$  не враховує наявності втрати енергії сигналу в приймально-передавальному тракті РЛС і середовищі поширення радіохвиль, які характеризуються коефіцієнтом втрат  $\eta$ . Тому для визначення перевищення сигналом рівня шуму здійснюється відповідне нормування величини  $W$ . Значення  $\eta$  визначається типом РЛС, а також параметрами середовища поширення радіохвиль. Параметри нормування вибираються з використанням того факту, що в непрямому вигляді коефіцієнт втрат "закладено" у таких характеристиках РЛС, як паспортна дальність виявлення  $D_{вияв}$  цілі з ЕПР  $\sigma_{ц}$  на висоті  $H_{ц}$  і в коефіцієнті використання радіо горизонту  $K_{рг}$  для малих висот, коли потенційна дальність виявлення обмежена дальністю прямої радіовидимості. Ці дані одержують експериментальним шляхом в умовах полігона та при обльотах позицій.

Оскільки "полігонна" (паспортна) дальність виявлення цілі з ЕПР  $\sigma_{ц}$  і висотою польоту  $H_{ц}$  є відомою, то для "полігонного" варіанту рельєфу (рівна поверхня) як нормувальний рівень  $W'$  пор для розрахованого масиву  $W[i]$  можливо обрати значення енергії, що відповідає цій відомій дальності, яка розраховується за формулою:

$$W'_{пор} [\text{дБ}] = W_{i, \max} [\text{дБ}] = 40 \lg \left( r_{i, \text{обн}} / r_{i, \max} \right) - 20 \lg \left( F_{п}(\theta_{i, \text{обн}}) / F_{п}(\theta_{i, \max}) \right), \quad (4)$$

де  $W_{i, \max} [\text{дБ}]$  – значення розрахованої енергетичної насиченості в точці, що відповідає максимальній дальності, де розраховане відношення сигнал/шум ще перевищує задану величину;  $r_{i, \max}$  – дальність до останньої точки, де розраховане відношення сигнал / шум перевищує задану величину;  $r_{i, \text{обн}}$  – паспортна дальність виявлення;  $F_{п}(\theta_{i, \text{обн}})$  і  $F_{п}(\theta_{i, \max})$  – паспортні значення кутомірної ДНА РЛС у напрямку на точки  $i_{\text{обн}}$  та  $i_{\max}$ . Для малих та гранично малих висот паспортна дальність виявлення  $r_{i, \text{обн}}$  дорівнюється опорній дальності  $r_{i, \text{оп}}$  та розраховується з урахуванням значення коефіцієнту використання радіо горизонту  $K_{рг}$ . Таким чином, розглянута розрахункова методика для умов, коли рельєф відрізняється від полігонного (наявність нерівностей місцевості, ухилів позицій й т.д.), під малими кутами місця візування цілей для розрахунку нижньої крайки ДНА РЛС використовує емпіричну залежність дальності виявлення цілі від значення  $K_{рг}$ .

Програмна реалізація методики розрахунку зон виявлення РЛС передбачає створення бази даних, щодо основних тактико-технічних характеристик РЛС та параметрів паспортної ДНА РЛС (рис. 1). На малих висотах програма передбачає розрахунок нижньої крайки зони виявлення РЛС для кожного азимутального напрямку з урахуванням значення коефіцієнта  $K_{рг}$  та затінюючих властивостей рельєфу місцевості.

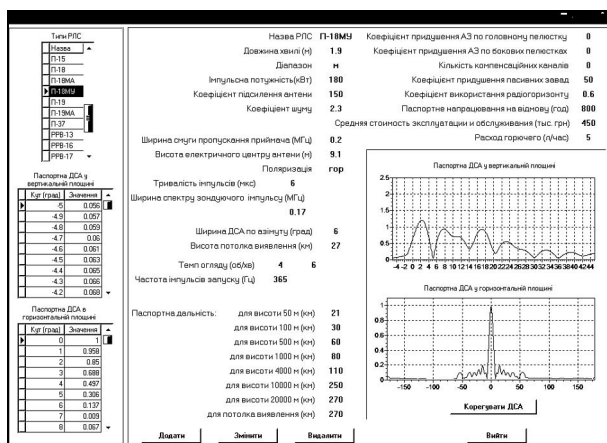


Рис. 1. Приклад бази даних ТТХ РЛС

Приклад результату розрахунку зони виявлення РЛС метрового діапазону хвиль для висоти польоту цілі 100 метрів та рельєфу позиції, який суттєво відрізняється від полігонного, наведено на рис/ 2.

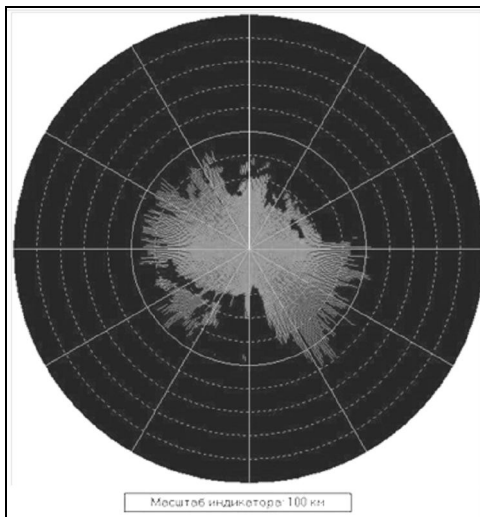


Рис. 2. Приклад розрахунку зони виявлення РЛС метрового діапазону хвиль

Результат розрахунку показує, що запропонована розрахункова методика дозволяє прогнозувати дальню межу зони виявлення на малих та гранично малих висотах та враховувати зміну форми нижньої крайки ДНА РЛС порівняно з паспортною (формулярною), яка отримана для гладкої землі.

## Висновки

Таким чином, для більш точного прогнозування дальньої межі зони виявлення на малих та гранично малих висотах бажано використовувати розглянуту методику, яка враховує емпіричну залежність дальності виявлення цілей на малих висотах від коефіцієнту використання радіооб'єкту та враховує як затінюючі, так і відбиваючі властивості місцевості.

Основним напрямком удосконалення розглянутої методики є використання для оцінки зони виявлення РЛС окремо розрахованих за методом геометричної оптики для кожного азимутального напрямку перерізів ДНА РЛС у вертикальній площині, що особливо актуально для РЛС метрового діапазону хвиль.

## Список літератури

1. Ярош С.П. Теоретичні основи побудови та застосування розвідувально-управляючих інформаційних систем протиповітряної оборони: моногр. / С.П. Ярош, за ред. І.О. Кириченко. – Х.: ХУПС, 2012. – 512 с.
2. Леценко С.П. Моделирующий комплекс ведения боевых действий воздушными силами / С.П. Леценко, С.И. Буркуринский, М.П. Батурицкий // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 2 (26). – С. 75-79.
3. Бахвалов Б.Н. Справочные материалы по оценке влияния реальных позиций на зоны видимости РЛС / Б.Н. Бахвалов. – Х.: ВИРТА ПВО, 1977. – 166 с.
4. Методы измерений параметров излучающих систем в ближней зоне / Л.Д. Бахрах и др. - Л.: Наука, 1985. – 234 с.
5. Рассеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами / О.И. Сухаревский, В.А. Василец и др. – Х.: Парус, 2009. – 476 с.
6. Арасланов М.Р. Методика автоматизированного выбора позиций мобильных радиолокационных средств группировки радиотехнических войск / М.Р. Арасланов, Г.Г. Камалтинов, Д.Ю. Свистунов // Збірник наукових праць ОНДІ ЗС. – Х., 2006. – № 2(4). – С. 145-155.
7. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации / Я.Д. Ширман. – Х.: ВИРТА ПВО, 1984. – 410 с.
8. Арасланов М.Р. Оцінка і прогнозування стану засобів радіолокації автоматизованої системи спостереження повітряного простору ЗС України / М.Р. Арасланов, О.М. Колесник // Системи озброєння і військова техніка. – 2009. – № 3 (19). – С. 2-6.

Надійшла до редколегії 5.01.2016

Рецензент: д-р техн. наук проф. С.П. Лещенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МОДЕЛИ ОПЕРАТИВНОГО РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ПОЛЯ

О.М. Колесник, М.В. Бардаков, Л.В. Бейлис, В.М. Крищенко

Проводится обзор методов и моделей расчета параметров зон обнаружения РЛС РТВ. Предлагаются направления улучшения качества оценки параметров радиолокационного поля группировки РТВ.

**Ключевые слова:** радиолокационная станция, зона обнаружения, маловысотные цели.

## RATIONALE FOR WAYS TO IMPROVE THE OPERATIONAL MODEL FOR CALCULATING THE PARAMETERS OF THE RADAR FIELD

O.M. Kolesnik, M.V. Bardakov, L.V. Beylis, V.M. Kryschenko

The review of methods and models for calculating the parameters of radar detection zones. The directions of improving the quality of estimation of the parameters of the radar field grouping.

**Keywords:** radar station, detection zone, little high-altitude goal.