

**В.Й. Климченко, В.О. Тютюнник, К.А. Тах'ян**

**ОБГРУНТУВАННЯ ЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ РОБОТИ ТА  
ПАРАМЕТРІВ ЗОНИ ОГЛЯДУ ПРОСТОРУ СПЕЦІАЛІЗОВАНИМИ РЛС  
ВИЯВЛЕННЯ ГІПЕРЗВУКОВИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

***Анотація.** Обґрунтовано вибір частотного діапазону роботи РЛС та визначена оптимальна форма зони виявлення цілей з урахуванням особливостей гіперзвукових літальних апаратів, як об'єктів радіолокації.*

**Ключові слова:** гіперзвукові літальні апарати, зона виявлення, огляд простору, радіолокаційна станція, частотний діапазон.

***Abstract.** The choice of frequency band for radar to detect of hypersonic aircraft is grounded. The optimal vertical coverage of radars which taking into account design features of hypersonic aircraft, as objects of radio-location, is determined.*

**Keywords:** coverage pattern, frequency band, hypersonic aircraft, radar, radar detection zone.

Оглядові радіолокаційні станції (РЛС) контролю повітряного простору використовують, як правило, радіочастотні діапазони, які визначені Міжнародним регламентом частот для засобів радіолокації (сантиметровий (середня довжина хвилі  $\lambda=10$  см), дециметровий (середня довжина хвилі  $\lambda=23$  см) і метровий (середня довжина хвилі  $\lambda=1,8$  м) діапазони) [1]. При виборі діапазону частот для РЛС виявлення гіперзвукових літальних апаратів (ГЗЛА) необхідно враховувати їх особливості так, щоб звести до мінімуму негативний вплив на виявлення і супроводження. ГЗЛА вважаються такі апарати, що можуть здійснювати тривалі польоти за законами аеродинаміки зі швидкістю не менше, ніж 5М, у верхніх шарах стратосфери та у мезосфері на висотах до 80 км [2].

В сантиметровому діапазоні довжин хвиль легко досягти високих точностей і роздільних здатностей по кутових координатах за невеликих розмірів антенних систем. Водночас ефективна площа розсіювання (ЕПР) ГЗЛА в цьому діапазоні в рази менше, ніж в дециметровому і метровому діапазонах довжин хвиль [3]. Означений чинник суттєво впливає на дальність виявлення ГЗЛА, яка має становити близько 1000 км. За таких дальностей необхідно враховувати значне поглинання електромагнітної енергії атмосферою в сантиметровому діапазоні довжин хвиль.

Метровий діапазон має суттєві переваги над сантиметровим щодо виявлення ГЗЛА. Розміри ГЗЛА і довжина хвилі є величинами сумірними, завдяки чому проявляється резонансний ефект при відбитті радіохвиль і ЕПР збільшується. Поглинанням електромагнітної енергії атмосферою в цьому діапазоні має незначну величину. Водночас для досягнення необхідних значень точнісних характеристик і роздільних здатностей потрібні антенні системи з надзвичайно великою апертурою. Крім цього, в метровому діапазоні, через вплив ефекту віддзеркалення радіохвиль від підстильної поверхні неможливо "притиснути" нижню кромку зони виявлення цілей до лінії горизонту, що дуже важливо для ГЗЛА, які необхідно виявляти з появою їх в зоні прямої радіовидимості.

В дециметровому діапазоні довжин хвиль певною мірою поєднуються переваги сантиметрового і метрового діапазонів, що пояснюється табл. 1, в якій розставлені пріоритети використання того чи іншого діапазону з урахуванням особливостей ГЗЛА і можливостей технічної реалізації РЛС. Отже, і з міркувань урахування особливостей ГЗЛА, як об'єктів радіолокації, і з міркувань можливостей технічної реалізації РЛС доцільним є використання дециметрового діапазону ( $\lambda=23$  см).

При визначенні потрібної форми зони у горизонтальній площині необхідно виходити з того, що ГЗЛА можуть діяти тільки з певних напрямків. Через це здійснювати круговий огляд немає потреби. Досить визначити сектор огляду шириною  $90^\circ$  з можливістю встановлення бісектриси сектору в будь-якому напрямку  $\beta_n$ .

Таблиця 1 – Сукупність переваг і недоліків діапазонів хвиль щодо виявлення і супроводження ГЗЛА.

Діапазон	Властивості ГЗЛА			Можливості з технічної реалізації			
	ЕПР	Stealth	Плазмовий шар	Розміри антенної системи	Формування зони	Точність виміру координат	Розрізнюв. здатність
См	3	3	3	1	1	1	1
Дм	2	2	2	2	2	2	2
М	1	1	1	3	3	3	3

При визначенні потрібної форми зони огляду у вертикальній площині необхідно враховувати, що ГЗЛА здатні здійснювати політ на висотах до 80 км зі швидкістю до 15 М. Але більшість з них здійснюють політ на висотах 20...40 км [4]. Це означає, що при виявленні ГЗЛА на дальності радіогоризонту для таких висот польоту (600...800 км) підлітний час буде становити не більше 5 хв. Отже, РЛС повинна виявляти ГЗЛА на дальностях не менше дальності радіогоризонту для найбільш імовірних висот польоту ГЗЛА.

Ідеальна форма зони огляду у вертикальній площині наведена на рис. 1 (жирні лінії). Вона має дві характерні ділянки: ізодальнісну і секансну. Функціональна залежність дальності виявлення цілей  $r(\varepsilon)$  від кута місця на різних ділянках визначається по-різному.

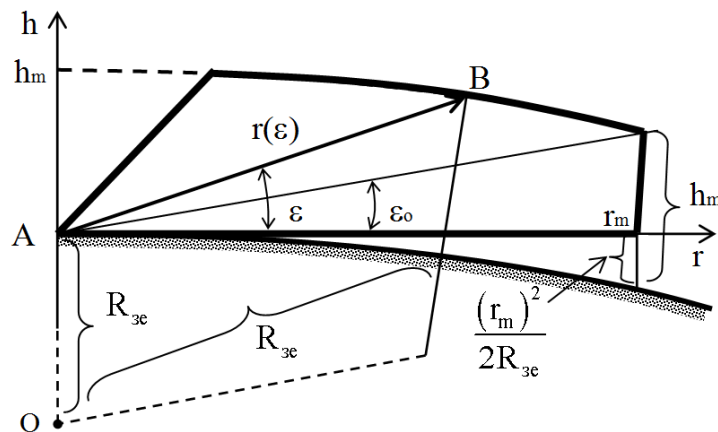


Рисунок 1 – До визначення залежності  $r(\varepsilon)$ .

На ізодальнісній ділянці в межах кутів місця  $\varepsilon_0 \geq \varepsilon \geq 0^\circ$

$$r(\varepsilon) = r(\varepsilon_0) = r_m. \quad (1)$$

Функціональна залежність дальності виявлення цілей  $r(\varepsilon)$  від кута місця в області кутів місця  $\varepsilon > \varepsilon_0$  може бути визначена через вирішення трикутника OAB (див. рис. 1). Через відомі сторони OA, OB і кут OAB можна розрахувати величину

$$r(\varepsilon) = (R_{ze} + h_m) \cos \left( \varepsilon + \arcsin \left( \frac{R_{ze} \cos \varepsilon}{R_{ze} + h_m} \right) \right) \operatorname{sc}(\varepsilon), \quad (2)$$

де  $R_{ze} = 8470$  км – еквівалентний радіус Землі;

$h_m$  – максимальна висота виявлення цілей.

Кут місця  $\varepsilon_0$ , який розмежує ізодальнісну і секансну ділянки зони, визначається співвідношенням

$$\varepsilon_0 = a \sin \left( \frac{h_m}{r_m} - \frac{r_m}{2R_{ze}} \right), \quad (3)$$

що впливає з геометрії рис. 1.

Розмір вертикального сектору огляду визначається допустимим радіусом "мертвої воронки", який не повинен перевищувати значення висоти польоту цілі, тобто огляд простору у вертикальній площині має здійснюватись в секторі  $0^\circ \leq \varepsilon \leq 45^\circ$ .

Із співвідношень (1)...(3) можна визначити потрібну нормовану форму зони огляду у вертикальній площині

$$F(\varepsilon) = \frac{r(\varepsilon)}{r_m} = \begin{cases} 1, & \varepsilon_0 \geq \varepsilon \geq 0^\circ; \\ \frac{\cos\left(\varepsilon + \arcsin\left(\frac{R_{ze} \cos \varepsilon}{R_{ze} + h_m}\right)\right) \cdot \text{sc}(\varepsilon)}{\cos\left(\varepsilon_0 + \arcsin\left(\frac{R_{ze} \cos \varepsilon_0}{R_{ze} + h_m}\right)\right) \cdot \text{sc}(\varepsilon_0)}, & 45^\circ \geq \varepsilon > \varepsilon_0; \\ 0, & \varepsilon > 45^\circ \vee \varepsilon < 0^\circ. \end{cases} \quad (4)$$

З урахуванням (4) ідеальна форма зони виявлення ГЗЛА може бути описана так:

$$D(\varepsilon) = D_m \cdot F(\varepsilon), \quad (5)$$

де  $D_m$  – максимальна дальність виявлення РЛС цілей з ЕПР  $\sigma_{\text{ц}} \approx 0,3 \text{ м}^2$ , яка є характерною для різних типів гіперзвукових крилатих ракет [3].

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Регламент радиосвязи. Международный союз электросвязи.– 2016. – Т1. – 430 с.
2. Карачун В. В. Гиперзвуковой прорыв: перспективы и проблемы // В. В. Карачун, В. Н. Мельник, М. Ф. Калинина / Космічна наука і технологія. 2013. Т. 19. № 2. С. 63–73.
3. Сухаревський О.І. Моделювання відбивних властивостей гіперзвукових крилатих ракет / О.І. Сухаревський, В.О. Василець, В.Й. Климченко, К.А. Тах'ян // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2022. – №1(46). – С. 64-71.
4. Купцов И. М. Борьба с гиперзвуковыми летательными аппаратами: новая задача и требования к системе воздушно-космической обороны //Военная мысль. 2011. №1.С. 10-17.

**Климченко Василь Йонович** – кандидат технічних наук доцент провідний науковий співробітник Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0000-0003-3999-8130>, [vasklim@i.ua](mailto:vasklim@i.ua)

**Тютюнник Владислав Олександрович** – кандидат технічних наук старший науковий співробітник начальник науково-дослідного відділу Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, Харків, Україна, <https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>, [tvlad1970@gmail.com](mailto:tvlad1970@gmail.com)

**Тах'ян Кристина Альбертівна** – науковий співробітник науково-дослідного відділу Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, [madi27@ukr.net](mailto:madi27@ukr.net)

**Vasyl Klimchenko** – Philosophy Doctor in Engineering Associate Professor Leading Researcher Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University Kharkiv, Ukraine <https://orcid.org/0000-0003-3999-8130>, [vasklim@i.ua](mailto:vasklim@i.ua)

**Vladyslav Tiutiunyk** – Philosophy Doctor in Engineering Senior Researcher Head of Scientific Research Department Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University Kharkiv, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>, [tvlad1970@gmail.com](mailto:tvlad1970@gmail.com)

**Kristina Tahyan** – Researcher Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University Kharkiv, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0003-0087-9601>, [madi27@ukr.net](mailto:madi27@ukr.net)