

**ДАЛЬНОСТІ ВИЯВЛЕННЯ ДЖЕРЕЛ
ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

Горобець Т.В. Іванова О.О.

e-mail: tymofii.horobets@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф.КРіСТЗІ
м. Харків, Україна

The paper examines the factors determining the detection range of electromagnetic radiation sources in the VHF band. The impact of transmitter parameters, receiver characteristics, and radio wave propagation conditions on the capabilities of electronic intelligence (ELINT) is analyzed. It is shown that atmospheric refraction can increase the line-of-sight range by 15–20%, which is especially important for centimeter and decimeter waves. Detection range estimates for trench-mounted electronic warfare (EW) systems are provided, showing that it is limited by line-of-sight due to the weak influence of diffraction. The dependence of detection range on receiver sensitivity and antenna parameters is determined, allowing for the optimization of ELINT system specifications.

Дальністю виявлення називається максимальна відстань до джерела випромінювання, на якій виявляється його робота з імовірністю, не меншою за задану. На дальність дії розвідувальної станції впливають параметри джерела випромінювання (потужність, коефіцієнт підсилення передавальної антени), характеристики розвідувального приймального пристрою (чутливість, коефіцієнт підсилення приймальної антени, її узгодження), а також умови поширення радіохвиль, що залежать від діапазону та рельєфу місцевості [1]. У радіо- і радіотехнічній розвідці (РТР) ставиться завдання забезпечення максимальних відстаней виявлення, тобто відстаней прямої видимості, відстаней в області тіні, а також наддалеких відстаней.

Основним для УКХ-діапазону є поширення радіохвиль у тропосфері. В діапазоні дециметрових та сантиметрових хвиль дальність виявлення обмежується дальністю прямої видимості (в км):

$$D_{\text{п.в.}} = 3.57 \left(\sqrt{h_1 + h_2} \right), \quad (1.1)$$

Дальність прямої видимості (в км) з урахуванням нормальної атмосферної рефракції визначають відомим співвідношенням

$$D_{\text{п.в.}} = 4.12 \left(\sqrt{h_1 + h_2} \right), \quad (1.2)$$

де h_1 та h_2 – висоти приймальних та передавальних антен, відповідно, над рівнем моря, м.

Залежність відстані прямої видимості без урахування та з урахуванням атмосферної рефракції від висоти h_2 приймальної антени засобу РТР при різних висотах передавальної антени h_1 показані на рис. 1. Залежність максимальної дальності визначення джерела ЕМВ від висоти підйому ан-

тени передавача слабка, тому висота щогли для встановлення передавальної антени визначається необхідністю зниження впливу багатопроменевої, з урахуванням можливих перешкод на шляху поширення сигналу (рельєф місцевості, будови).

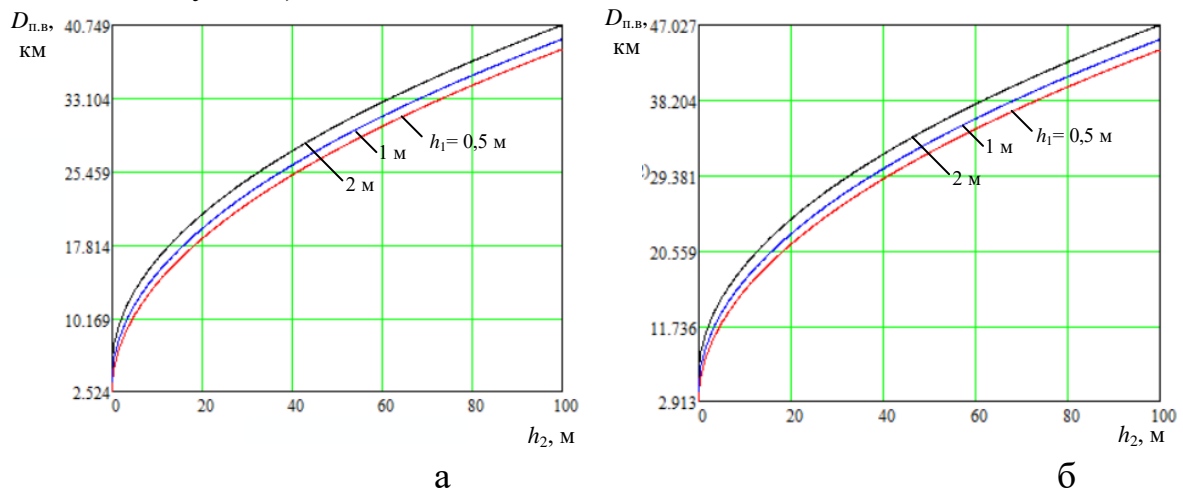


Рисунок 1 – Відстань прямої видимості в залежності від висоти приймальної антени при різних висотах передавальної антени: а – без урахування рефракції; б – з урахуванням рефракції

У середньому, з урахуванням рефракції, дальність прямої видимості збільшується на 15–20% порівняно зі стандартною геометричною видимістю (рис. 1). Це пояснюється заломленням радіохвиль у тропосфері, завдяки чому вони частково огинають поверхню Землі. Ефект особливо помітний на довших хвилях, які краще піддаються рефракції [1]. Наприклад, при стандартному коефіцієнті рефракції ($n \approx 4/3$ радіуса Землі) ефективний радіус Землі збільшується, що дозволяє радіохвилям поширюватися на більші відстані. Внаслідок цього джерело випромінювання за геометричним горизонтом може бути виявлене засобами РТР. Проте реальне збільшення дальності залежить від атмосферних умов, довжини хвилі та рельєфу місцевості.

За високої потужності випромінювання та чутливого приймача можливо виявлення джерела за горизонтом через дифракційне поле або далеке тропосферне поширення радіохвиль. Однак у сантиметровому та дециметровому діапазонах (випадок окопних РЕБ, що розглядається у даній роботі) дальність розвідки D_p обмежена дальністю прямої видимості $D_{п.в.}$, тобто $D_p \leq D_{п.в.}$. Це пов'язано з тим, що рефракція та дифракція слабше впливають на поширення у цих діапазонах порівняно з довгохвильовим. Додатково окопне розташування РЕБ створює екрануючі ефекти, знижуючи рівень випромінювання в напрямку станції РТР. Таким чином, точне значення D_p визначається параметрами антен, чутливістю приймача та рельєфом місцевості. У зоні прямої видимості електромагнітна доступність визначається ймовірністю перевищення сигналом E_d деякого необхідного рівня $E_{н.п.}$ (но-

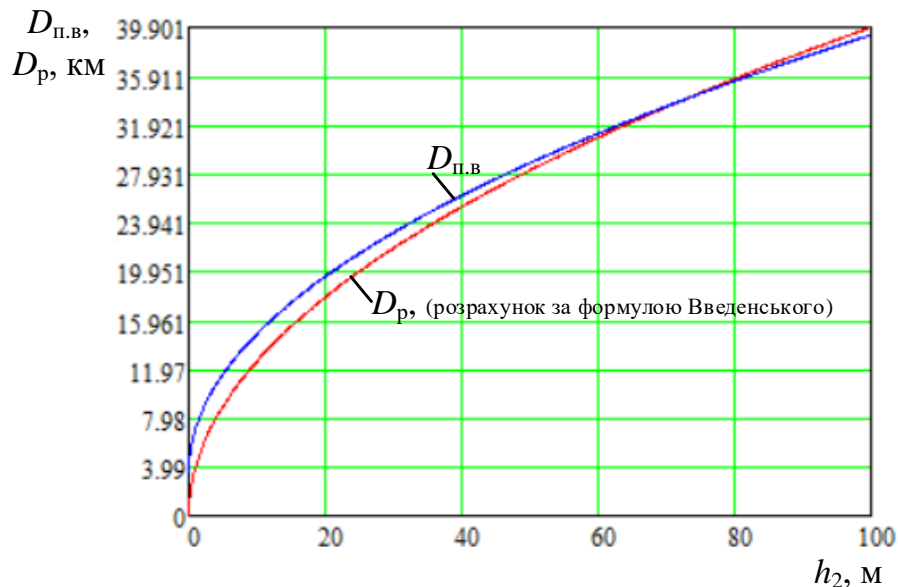
рми поля), який залежить від параметрів розвідувального засобу. $E_{н.п.}$ – мінімальна напруженість поля, необхідна для надійного виявлення сигналу, що прямо залежить від чутливості приймача: чим вона нижча, тим вищим має бути $E_{н.п.}$. Дальність розвідки в УКХ-діапазоні розраховується за формулою Введенського, що враховує характеристики передавача, приймача та середовища поширення. Для окопних РЕБ, де $D_p \leq D_{п.в.}$, отримано співвідношення для оцінки D_p через прирівнювання $E_{н.п.}$ до напруженості поля в точці прийому. Встановлено зв'язок $E_{н.п.}$ із чутливістю приймача P_{\min} через ефективну площу та опір антени, що дозволяє оцінити D_p без урахування рефракції:

$$1,97 \sqrt{\sqrt{\frac{P_{п} G_{а.п.} G_{а.пр.}}{P_{\min}}} \cdot h_1 h_2} \leq D_p \leq 3,57 (\sqrt{h_1 + h_2}), \quad (2)$$

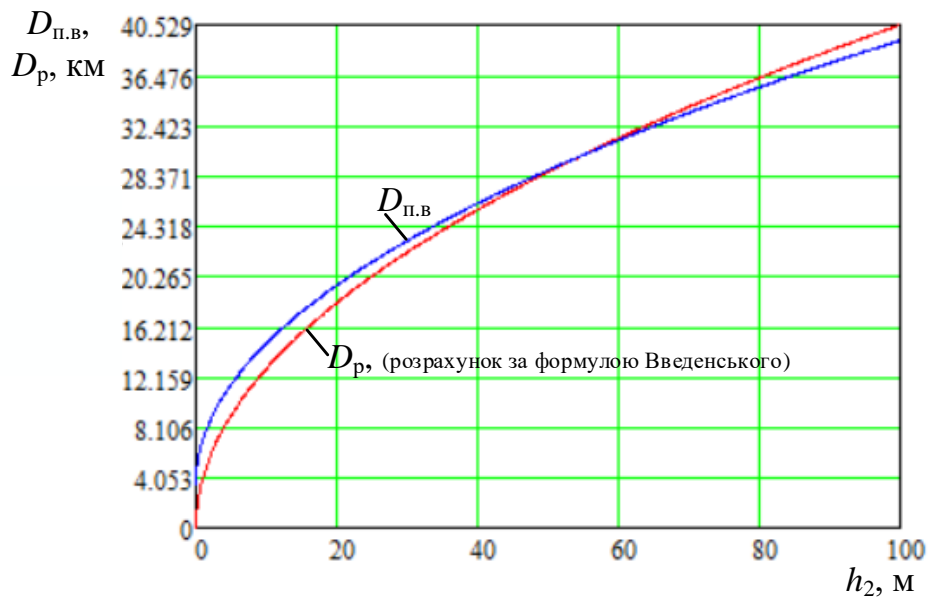
де $P_{п}$ – потужність передавача засобу РЕБ, $G_{а.п.}$ – коефіцієнт підсилення його антени, D_p – дальність розвідки, λ – довжина робочої хвилі засобу РЕБ, h_1 – висота антени засобу РЕБ, h_2 – висота антени розвідувального приймача.

Оцінено чутливість розвідувального приймача для випадку, коли потужність передавача завад $P_{п} = 50$ Вт, коефіцієнт підсилення його антени $G_{а.п.} = 3$, а антена розвідувального приймача має $G_{а.пр.} = 10$. За рис. 2,а, нерівність (1) виконується при чутливості $-70,5$ дБм. Для неспрямованої антени ($G_{а.пр.} = 3$, рис. 2,б) чутливість повинна бути -76 дБм.

Отже, дальність розвідки можна збільшити за рахунок підвищення чутливості приймача або використання спрямованих антен.



а



б

Рисунок 2 – Залежність відстані прямої видимості $D_{п.в}$ та дальності розвідки D_p від висоти приймальної антени h_2

Використовуючи нерівність (1) можна також оцінити вимоги до технічних характеристик до розвідувальних приймачів, які призначені для розвідки РЛС виявлення малогабаритних БПЛА.

Список використаних джерел:

1. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Ч.2. Випромінювання та поширення електромагнітних хвиль / В.М. Шокало, В.І. Правда, В.А. Усін, В.С. Вунтесмері, Д.В. Грецьких. – Харків: Колегіум, 2010. – 435 с.