

## MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

 DOI 10.51582/interconf.19-20.06.2024.052

### **Характеристика енергетичного потенціалу станцій радіолокації, що забезпечують безпеку об'єктів критичної інфраструктури та властивостей відображення малих повітряних цілей в залежності від різних чинників**

**Азаренко Олена Василівна<sup>1</sup>** ,

**Гончаренко Юлія Юріївна<sup>2</sup>** ,

**Дівізінюк Михайло Михайлович<sup>3</sup>** ,

**Землянський Олександр Миколайович<sup>4</sup>** ,

**Фаррахов Олександр Володимирович<sup>5</sup>** 

<sup>1</sup> доктор фізико-математичних наук, професор, заступник керівника;  
Науково-дослідний лабораторно-експериментальний центр «БРАНД ТРЕЙД»; Україна

<sup>2</sup> доктор технічних наук, доцент, професор кафедри кібербезпеки та захисту інформації;  
Європейський університет; Україна

<sup>3</sup> доктор фізико-математичних наук, професор, головний науковий співробітник;  
Центр інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення моніторингу об'єктів атомної  
енергетики Національної академії наук України; Україна

<sup>4</sup> кандидат технічних наук, доцент, начальник наукового відділу;  
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету  
цивільного захисту України; Україна

<sup>5</sup> кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник;  
Центр інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення моніторингу об'єктів атомної  
енергетики Національної академії наук України; Україна

#### **Анотація.**

Аналізуються складові елементи енергетичного потенціалу станцій радіолокації, що забезпечують безпеку об'єктів критичної інфраструктури. Спочатку розглянуті складові енергетичного потенціалу радіолокаційної станції, що впливають із нестрогої нерівності дальності її дії. Потім дано опис практичного застосування нестрогої нерівності дальності

## MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

дії станції радіолокації. Після чого проаналізовано енергетичні параметри електромагнітних хвиль, відображених від цілей радіолокації. Наприкінці зроблено висновок про основні складові енергетичного потенціалу та його вплив на забезпечення захисту об'єктів критичної інфраструктури держави від ударного терористичного впливу.

---

**Ключові слова:**

*об'єкт критичної інфраструктури  
терористичний вплив  
станція радіолокації  
безпілотний літальний апарат  
радіолокаційна ціль*

---

## MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

### **Вступ**

Захист об'єктів критичної інфраструктури держави від ударного терористичного впливу – одна із складових частин державної безпеки України [1]. До цих об'єктів входять атомні (АЕС), теплові (ТЕС) і гідроелектричні станції (ГЕС), гірничо-збагачувальні та нафтохімічні комбінати, металургійні заводи та інші підприємства, які є стратегічними об'єктами [2,3]. Головною небезпекою для цих об'єктів є ударні безпілотні літальні апарати (БПЛА), які систематично атакують об'єкти критичної інфраструктури (ОКІ) [4,5]. Відомо [6,7], що в даний час, основним засобом для виявлення БПЛА та інших повітряних цілей є імпульсні станції радіолокації (РЛС), які забезпечують вирішення завдань охорони та захисту ОКІ. Оптимізація деяких аспектів експлуатації цих РЛС забезпечить підвищення ступеня забезпечення безпеки ОКІ та інших стратегічних об'єктів, що охороняються.

Мета роботи – дати характеристику енергетичного потенціалу радіолокаційних станцій, що забезпечують безпеку об'єктів критичної інфраструктури та властивостей відображення малих повітряних цілей в залежності від різних факторів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання. Спочатку розглянути складові енергетичного потенціалу станції радіолокації, що впливають з нестрогої нерівності дальності її дії. Потім дати опис практичного застосування нестрогої нерівності дальності дії станції радіолокації. Після цього проаналізувати енергетичні характеристики електромагнітних хвиль, відображених від радіолокаційних цілей. Наприкінці зробити висновок про основні складові енергетичного потенціалу та його вплив на забезпечення захисту об'єктів критичної інфраструктури держави від ударного терористичного впливу.

### **Викладення основного матеріалу**

#### **Складові частини енергетичного потенціалу станції радіолокації, що впливають з нестрогої нерівності дальності її дії**

Відомо [8], що поточне значення інтенсивності електромагнітної хвилі (ЕМХ), що поширюється в приземних шарах атмосфери, в результаті роботи станції радіолокації (РЛС), матиме вигляд

## MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

$$I_t = \frac{P_i \cdot K_{\text{під}}}{(4\pi D)^2} \cdot 10^{-0,1 \cdot \beta \cdot D_{\text{км}}} \quad (1)$$

де

$I_t$  – поточне значення інтенсивності, Вт;

$P_i$  – потужність електромагнітного імпульсу, що випромінює РЛС в простір, Вт;

$K_{\text{під}}$  – коефіцієнт підсилення антени,

$\beta$  – коефіцієнт згасання ЕМХ, Дб/км,

$D_{\text{км}}$  – поточна відстань від джерела ЕМХ в км,

$D$  – поточна відстань від джерела ЕМХ в м.

Ціль, що опромінюється електромагнітною хвилею, відображає тільки частину енергії, що падає на неї, яка визначається площею радіолокаційної поверхні, що відбиває –  $2S_{RO}$ . У ряді випадків вона може характеризуватися еквівалентною сферою поверхні, що відбиває.

Оскільки електромагнітну хвилю відображає не вся поверхня, а тільки її ракурсна частина  $S_{RO}$ , яка не перевищує половину всієї поверхні, що відображає, то величина відображеної електромагнітної енергії буде пропорційна  $S_{RO}$  від поточного значення інтенсивності, що визначається формулою (1).

Відображена електромагнітна хвиля, що поширюється в зворотному напрямку, загасатиме за рахунок розширення фронту хвилі і об'ємного згасання. Значення її інтенсивності зменшуватиметься пропорційно квадрату поточної відстані, вираженого в метрах  $(4\pi D)^2$  і в кілометрах  $10^{-0,1 \cdot \beta \cdot D_{\text{км}}}$ .

У результаті отримуємо, що інтенсивність відображеної від цілі електромагнітної хвилі описуватиметься залежністю (2)

$$\frac{P_i \cdot K_{\text{під}}}{(4\pi D)^2} \cdot 10^{-0,1 \cdot \beta \cdot D_{\text{км}}} \cdot S_{RO} \cdot \frac{10^{-0,1 \cdot \beta \cdot D_{\text{км}}}}{(4\pi D)^2} \quad (2)$$

Беручи до уваги [8-10], що оптимальне виявлення

## MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

електромагнітних сигналів забезпечується перевищенням рівня (величини або інтенсивності) прийнятого корисного сигналу  $I_{\text{сигн}}$  над рівнем перешкод  $I_{\text{прш}}$ , що діють на вхід приймального пристрою, буде справедливий вираз (3)

$$I_{\text{сигн}} \geq \delta \cdot I_{\text{прш}}, \quad (3)$$

де  $\delta$  – коефіцієнт розпізнавання, безрозмірна величина, що визначається технічними параметрами приймального пристрою РЛС.

В результаті перетворень отримаємо вираз (4)

$$\frac{P_i \cdot K_{\text{нід}} \cdot S_{\text{RO}}}{(4\pi D)^4} \cdot 10^{-0,2 \cdot \beta \cdot D_{\text{км}}} \geq \delta \cdot \frac{P_{\text{пр}}}{K_{\text{нід}}}. \quad (4)$$

Прологарифмувавши нерівність (4), помноживши обидві частини на 10, отримаємо:

$$\begin{aligned} 10 \cdot \lg P_i + 10 \cdot \lg K_{\text{нід}} + 10 \cdot \lg S_{\text{RO}} - 40 \lg D - 40 \lg 4\pi - 2\beta D_{\text{км}} &\geq \\ &\geq 10 \cdot \lg \delta + 10 \cdot \lg P_{\text{пр}} - 10 \cdot \lg K_{\text{нід}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Переносячи в ліву частину доданки, що містять поточне значення дистанції, а праву доданки, що містять технічні параметри РЛС, отримаємо:

$$\begin{aligned} -2 \cdot [20 \lg D + \beta D + 20 \lg \pi] &\geq \\ &\geq 10 \cdot \lg \delta + 10 \cdot \lg P_{\text{пр}} - 20 \cdot \lg K_{\text{нід}} - 10 \cdot \lg P_i - 10 \cdot \lg S_{\text{RO}} \end{aligned} \quad (6)$$

Виходячи з того, що число  $\pi$  є константою, позначимо суму  $20 \cdot \lg 4\pi$  через  $2K$ . Після нескладних перетворень остаточно отримаємо:

$$\begin{aligned} -20 \cdot \lg D - \beta D_{\text{км}} - 2K &\geq \\ &\geq \frac{1}{2} (10 \cdot \lg \delta + 10 \cdot \lg P_{\text{пр}} - 20 \cdot \lg K_{\text{нід}} - 10 \cdot \lg P_i - 10 \cdot \lg S_{\text{RO}}), \end{aligned} \quad (7)$$

## MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

де  $K \approx 10,98$  дБ.

Вираз (7) прийнято називати нерівністю дальності дії РЛС. Ліву частину виразу (7) називають закономірністю спаду інтенсивності електромагнітної хвилі, що поширюється, і позначають як  $\Psi(D, f)$ . Закономірність спаду інтенсивності електромагнітної хвилі, що поширюється – це математична залежність, що характеризує закономірність згасання будь-якої хвилі, що поширюється за рахунок розширення сферичного фронту і об'ємного згасання. Останнє залежить від частоти випромінювання, яка є фіксованою величиною для РЛС, що аналізується.

У його правій частині шість доданків, що в децибельній формі виражають значення головних технічних параметрів РЛС, а саме: коефіцієнта розпізнавання  $\delta$ , чутливості приймального пристрою  $P_{пр}$ , коефіцієнта посилення антени РЛС –  $K_{під}$ , потужності випромінювання  $P_i$  та головного параметра опромінюваної радіолокаційної цілі – ракурсна поверхня, що відображає  $S_{RO}$ . Цю частину нерівності прийнято також називати енергетичним потенціалом РЛС щодо певної цілі радіолокації, яка позначається як  $P_{ерлс}$ .

Тепер вираз (7) набуде вигляду (8)

$$\Psi(D, f) \geq \frac{1}{2} P_{ерлс}. \quad (8)$$

### **Практичне застосування нестрогої нерівності дальності дії станції радіолокації**

Нехай значення основних технічних властивостей РЛС залишаються постійними. Це твердження може бути справедливим, виходячи з того, що режими роботи станцій не змінюється протягом певного часу. Цей проміжок часу визначається тривалістю вирішення завдання щодо забезпечення безпеки на підходах до ОКІ, що охороняється. Тоді енергетичний потенціал можна розглядати як функцію, яка залежить тільки від ракурсної поверхні, що відбиває радіолокаційної цілі  $S_{RO}$ . Тоді з (8) отримуємо залежність (9)

## MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

$$\Psi(D, f_{плс}) \geq \frac{1}{2} \Pi_{еплс}(S_{RO}). \quad (9)$$

Виконаємо графічну інтерпретацію нестрогої нерівності дальності дії РЛС (9). Для цього, як показано на рис.1, по осі абсцис розташуємо поточні значення дальності дії РЛС (км). По осі ординат – рівень спаду інтенсивності електромагнітної хвилі (дБ). Виконаємо розрахунки та побудуємо три варіанти закономірностей спаду інтенсивності для довжини хвилі, що дорівнює 2,8; 3,0 і 3,2 см. Відповідно, для фіксованого значення енергетичного потенціалу РЛС, що визначається ракурсною поверхнею, що відображає радіолокаційної цілі  $S_{RO}$ , отримаємо три значення дальності дії  $D_{\lambda 1}$ ,  $D_{\lambda 2}$  і  $D_{\lambda 3}$ .

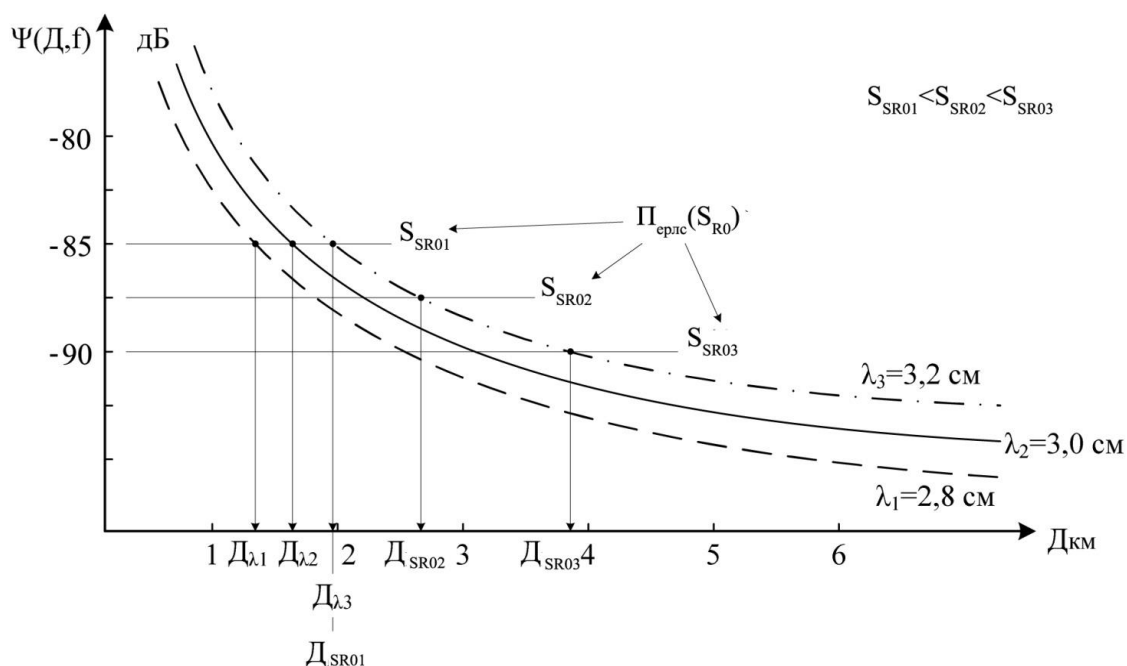


Рисунок 1

**Графічна інтерпретація нерівності дальності дії**

З графічної інтерпретації випливає, що чим більше довжина хвилі випромінювання (тим нижче частота РЛС, що несе), тим на більших дистанціях буде виявлятися одна і та ж радіолокаційна ціль. Звідси також випливає, що для однієї і тієї ж довжини

## MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

хвилі, як показано для  $\lambda_3$ , чим більша ракурсна поверхня радіолокаційної цілі, що відображає, тим далі ці цілі будуть виявлятися.

Іншими словами, найбільша енергетична дальність виявлення радіолокаційної цілі визначається відповідністю (рівністю) значення енергетичного потенціалу РЛС значенню закономірності спаду інтенсивності електромагнітної хвилі, що розповсюджується, розрахованого для цієї дистанції.

### **Енергетичні параметри електромагнітних хвиль, відображених від радіолокаційних цілей**

В основі всіх систем отримання інформації про координати та інші параметри радіолокаційних об'єктів лежать основні властивості електромагнітних хвиль [11,12]. Електромагнітна, як будь-яка інша хвиля, випромінена точковим джерелом, поширюється за сферичним законом. Для опису поширення акустичних, світлових, електромагнітних та будь-яких інших хвиль у фізиці використовують променеву теорію. Під променем у ній розуміють лінію, нормальну (перпендикулярну) до хвильової поверхні, а під напрямом поширення хвилі – напрямом променів.

Якщо середовище, в якому поширюються промені, однорідне та анізотропне, то промені будуть прямими, тобто прямолінійність поширення у вільному просторі – це перша властивість електромагнітних хвиль. Крім цього, електромагнітні хвилі поширюються з однією і тією ж швидкістю, що дорівнює  $3 \times 10^8$  км/с.

У реальному просторі внаслідок неоднорідності та анізотропності середовища рефракція електромагнітних променів викликає незначні зміни їх напрямку у вертикальній площині.

Розглядаючи сферичний фронт електромагнітної хвилі, що поширюється, можна побудувати необмежену кількість променів. Коли локальна ділянка фронту сферичної хвилі вироджується, та її конфігурація наближається до плоскої хвилі, промені стають паралельними прямими.

Опромінюючи ціль, електромагнітний промінь частково поглинається.

Нехай [13,14]  $j(x)$  характеризує ступінь поглинання електромагнітних променів ракурсною відбиваючою поверхнею в деякій точці  $x$  радіолокаційної цілі, а величина  $\Delta I$  описує зміну інтенсивності електромагнітного випромінювання, що



## MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

відбувається при цьому, тоді відносно зменшення інтенсивності електромагнітного випромінювання на нескінченно малому відрізку  $\Delta x$  в точці  $x$  складе:

$$\frac{\Delta I}{I} = j(x)\Delta x \quad (10)$$

Процес опромінення радіолокаційної цілі плоскою електромагнітною хвилею можна представити як пронизування його безліччю променів, як показано на рис. 2.

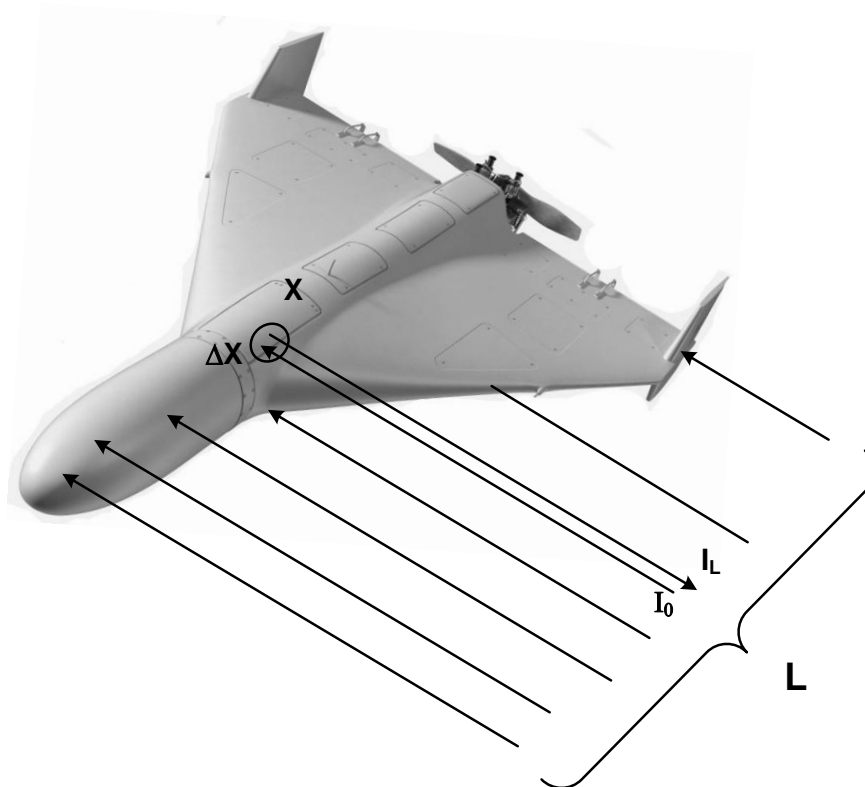


Рисунок 2  
Схема опромінення радіолокаційної цілі

На об'єкт падає  $L$  променів. Позначимо через  $I_0$  початкову інтенсивність поодинокого променя, а  $I_1$  - його інтенсивність

## MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

після відображення радіолокаційною ціллю. З урахуванням виразу (10) отримаємо:

$$\frac{I_1}{I_0} = \exp\left\{-\int_L j(x)\Delta x\right\}. \quad (11)$$

В результаті опромінення потоком паралельних електромагнітних променів отримуємо опис відображеного сигналу лінійним інтегралом функції  $j$ , яка описує поглинання електромагнітних хвиль кожною точкою  $x$  поверхні цілі радіолокації. За сукупністю цих інтегралів можна відновити відповідні кожному променю функції  $j$  та отримати відновлений образ радіолокаційної цілі.

Відомо, що відображення функції, заданої у  $n$ -вимірному просторі  $\mathbf{R}^n$ , в множині її лінійних інтегралів є перетворенням Радона  $\mathbf{R}$ , яке для випадку двовірного простору (площини  $\mathbf{R}^2$ ) набуває вигляду  $\mathbf{R}^2$  [15].

Розглянемо охоплюючий простір, який може описуватися за допомогою гіперплощин – підпросторів, що мають розмірність на одиницю менше, ніж охоплюючий простір.

Перетворення  $\mathbf{R}$  ( $n$ -вимірне) відображає функцію, визначену в  $\mathbf{R}^n$ , в множину її інтегралів по гіперплощинах в  $\mathbf{R}^n$ . Інакше кажучи, якщо вектор  $\theta$  належить поодинокій сфері в  $\mathbf{R}^n$  ( $\theta \in \mathbf{S}^{n-1}$ ) і  $s$  – відстань від початку координат ( $s \in \mathbf{R}^1$ ), то

$$\mathbf{R}f(\theta, s) = \int_{x \cdot \theta = s} j(x) dx = \int_{\theta^\perp} j(s\theta + y) dy \quad (12)$$

Вираз (12) являє собою інтеграл функції  $j$ , що належить простору Шварца, за гіперплощиною, перпендикулярною до вектору  $\theta$  і розташований на відстані  $s$  (з урахуванням знака) від початку координат.

## MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

Простір Шварца – це простір швидко спадних функцій, тобто сама функція, і її похідні зі зростанням аргументу прагнуть нуля швидше, ніж аргумент прагне нескінченності. Тому, використовуючи головну властивість електромагнітних хвиль – прямолінійність їхнього поширення, можна відновлювати образ опроміненого об'єкта аналітично шляхом, розв'язком зворотної задачі.

На площині задача відновлення зводиться до зворотного перетворення Радону за допомогою формули обернення у вигляді:

$$h * g(\theta, s) = \int_{\mathbf{R}^1} h(\theta, s-t)g(\theta, s)dt \quad (13)$$

Вираз (13) прийнято називати згорткою. Тут  $h$  – перетворення Фур'є, яке визначається виразом:

$$h(\theta, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\mathbf{R}^1} e^{-is\sigma} h(\theta, s)ds \quad (14)$$

На практиці [16] значення інтегралів можна обчислити для кінцевого числа прямих променів  $L$ , розташованих паралельно на однаковому віддаленні друг від друга. Ця відстань у загальному вигляді визначається розмірами об'єкта та довжиною хвилі електромагнітного випромінювання. Розміри повинні бути набагато більшими (в десятки разів) довжини хвилі випромінювання, тоді відстань між променями, що направляються, повинна бути порівнянна з довжиною хвилі випромінювання. Це співвідношення враховує спектр електромагнітного випромінювання  $T(E)$ , тоді вираз (11) набуде вигляду:

$$\frac{I_1}{I_0} = \int_{\mathbf{R}^1} T(E) \exp \left\{ - \int_L j(xE) dx \right\} dE \quad (15)$$

У цьому випадку завдання відновлення образу опроміненого об'єкта полягає у визначенні функції поглинання електромагнітного випромінювання цілі радіолокації по певному

## MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

числу лінійних інтегралів, які залежать від розмірів об'єкта і довжини хвиль випромінювання.

### Висновки

Таким чином, енергетичний потенціал станції радіолокації визначається двома ключовими факторами. Перший – це її головні технічні параметри, а саме: імпульсна потужність яка випромінюється, чутливість приймального пристрою, коефіцієнт посилення антени та коефіцієнта розпізнавання. Другий – головний параметр радіолокаційної цілі яка опромінюється, а саме: її ракурсна поверхня, що відбиває. У свою чергу, величина поверхні, що відбиває, залежать від розмірів цілі, матеріалу, з якого вона виготовлена, конфігурації, довжини хвилі якою опромінює радіолокаційна станція і напряду опромінювання.

Точне знання енергетичного потенціалу забезпечує точний розрахунок дальності виявлення цілей радіолокації та проведення заходів щодо захисту об'єктів критичної інфраструктури від ударного терористичного впливу.

### References:

- [1] Офіційне інтернет-представництво Президента України. (2024). *Ключове завдання нашої держави... Промови та звернення*. Вилучено з: <https://www.president.gov.ua/news/speeches>
- [2] Азаренко О.В., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Шевченко Р.І., Шевченко О.С. (2023). Характеристика об'єктів критичної інфраструктури держави (особливості ядерних та інших стратегічних об'єктів). *Комунальне господарство міст*. Том 1, випуск 175. С.160-168. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-1-175-160-168>
- [3] Портал «Все про бухгалтерський облік». (2024). *Постанова КМУ від 04.03.2015р. № 83 «Про затвердження переліку об'єктів державної власності, що мають стратегічне значення для економіки і безпеки держави»*. (Редакція від 26.08.2021р.). Вилучено з: <https://document.vobu.ua/doc/7863>
- [4] «Вікіпедія». (2024). *Перелік атак БПЛА Shahed 136*. Вилучено з: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Перелік\\_атак\\_БПЛА\\_Shahed\\_136](https://uk.wikipedia.org/wiki/Перелік_атак_БПЛА_Shahed_136)
- [5] Азаренко О.В., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Камишенцев Г.В., Фаррахов О.В. (2024). Аналіз деяких аспектів терористичних вплив ударними дронами. *Theoretical and empirical scientific research: concept and trends: Collection of scientific papers «ЛОГОС» with Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference, Oxford, February 2, 2024*. «P.C. Publishing House», United Kingdom. P.128-133. <https://doi.org/10.36074/logos-02.02.202>
- [6] Азаренко О.В., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Камишенцев Г.В., Фаррахов О.В. (2024). Деякі аспекти класифікації безпілотних

## MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

- літальних апаратів в інтересах захисту об'єктів критичної інфраструктури. *Scientific Collection «InterConf+», 43(193): with the Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference «Scientific Goals and Purposes in XXI Century» (March 19–20, 2024; Seattle, USA) / comp. by LLC SPC «InterConf». Seattle: ProQuest LLC. С.624–637. <https://doi.org/10.51582/interconf.19–20.03.2024.060>*
- [7] Електронна версія «Велика українська енциклопедія». (2024). *Радіолокаційна станція*. Вилучено з: <https://vue.gov.ua/Радіолокаційна станція>
- [8] Дивизинюк, М.М., Азаренко, Е.В., Гончаренко, Ю.Ю., Лазаренко, С.В., Ожиганова, М.И. (2019). *Информационно-технические методы предотвращения чрезвычайных ситуаций террористического характера на объектах критической инфраструктуры. Часть 1. С использованием активных импульсных радиолокационных средств*. Монографія. Київ. ДУ «ІГНС НАН України».
- [9] Азаренко Е.В., Бородин Н.А., Дивизинюк М.М., Касаткина Н.В., Лазаренко С.В., Рыбка Е.А. (2017). Математическая модель выявления нештатных ситуаций террористического характера с использованием образов людей, находящихся около объектов критической инфраструктуры. *Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірjувальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах»*. Хмельницький. Хмельницький національний університет, № 3 (59). С.141–145.
- [10] Азаренко Е.В., Бородин Н.А., Гончаренко Ю.Ю., Касаткина Н.В., Лазаренко С.В., Рыбка Е.А. (2017). Разработка математической модели радиолокационного обнаружения и идентификации людей и других опасных целей на подходах к охраняемым объектам критической инфраструктуры в стандартных условиях. *Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірjувальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах»*. Хмельницький. Хмельницький національний університет. № 4 (60). С.161–165.
- [11] «Фізика – філософія життя» (2024). *Електромагнітні хвилі*. Вилучено з: <http://physics.zfftt.kpi.ua/mod/book/view.php?id=381&chapterid=599>
- [12] Дивизинюк М., Азаренко Е., Гончаренко Ю., Коноваленко Н. (2016). Особенности радиолокационной информации как средства предотвращения чрезвычайных ситуаций террористического характера. *Науково-технічний збірник «Правове, нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні»*. Вип 2. (32). Державна служба спеціального звуку та захисту інформації в Україні НТУУ «КПІ». Київ. С.28–39.
- [13] Азаренко Е.В., Гончаренко Ю.Ю., Коноваленко Н.В., Лазаренко С.В. (2016). Методика расчёта энергетической дальности обнаружения радиолокационных целей. *«Телекомунікаційні та інформаційні технології»*. № 6. Київ: ДУІКТ. С.18–29.
- [14] David J. Griffiths. (1998). *Introduction to electrodynamics*. Prentice Hall, Upper Saddle, New Jersey.
- [15] Adams R.A. (1975). *Sobolev Spaces*. New York: Academic Press.
- [16] Тихонов А.Н. (1978). *Математические задачи компьютерной томографии*. Москва. Наука.