

SECTION 6.

SCIENCES MILITAIRES, SÉCURITÉ NATIONALE ET SÉCURITÉ DE LA FRONTIÈRE DE L'ÉTAT

DOI 10.36074/logos-20.09.2024.017

ВПЛИВ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ НА ДАЛЬНІСТЬ ВИЯВЛЕННЯ ЦІЛЕЙ, ЩО АТАКУЮТЬ ОБ'ЄКТИ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ

**Азаренко Олена Василівна¹, Гончаренко Юлія Юріївна²,
Дівізінюк Михайло Михайлович³, Землянський Олександр Миколайович⁴,
Фаррахов Олександр Володимирович⁵**

1. доктор фізико-математичних наук, професор, заступник керівника
*Науково-дослідний лабораторно-експериментальний центр «БРАНД ТРЕЙД»,
УКРАЇНА*

ORCID ID: 0000-0003-2927-5545

2. доктор технічних наук, доцент, професор кафедри кібербезпеки та захисту
інформації

Європейський університет, УКРАЇНА

ORCID ID: 0000-0003-2045-0263

3. доктор фізико-математичних наук, професор, головний науковий співробітник
*Центр інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення моніторингу
об'єктів атомної енергетики Національної академії наук України, УКРАЇНА*

ORCID ID: 0000-0002-5657-2302

4. кандидат технічних наук, доцент, начальник наукового відділу
*Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного
університету цивільного захисту України, УКРАЇНА*

ORCID ID: 0000-0002-1305-0387

5. кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник
*Центр інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення моніторингу
об'єктів атомної енергетики Національної академії наук України, УКРАЇНА*

ORCID ID: 0000-0003-4988-126X

Анотація. Розглядаються функціональні залежності впливу вологості повітря на дальність виявлення цілей, що атакують об'єкти критичної інфраструктури України, що охороняються. Спочатку розглянуто математичні закономірності процесу радіолокаційного виявлення цілей. Потім описані коефіцієнти згасання електромагнітних хвиль у приземних шарах атмосфери. Після цього показано вплив величини відносної вологості приземних шарів атмосфери на дальність виявлення малої повітряної цілі.

Вступ

Захист критичної інфраструктури України є одним із аспектів забезпечення безпеки нашої держави від терористичного впливу [1]. До складу цієї інфраструктури входять атомні, теплові та гідроелектростанції, металургійні та нафтохімічні комбінати, та інші стратегічні об'єкти, що охороняються [2,3]. Ударні безпілотні літальні апарати є головною небезпекою для цих об'єктів. Вони систематично атакують об'єкти критичної інфраструктури [4-7]. Основним засобом для виявлення ударних безпілотних літальних апаратів та інших повітряних цілей є імпульсні радіолокаційні станції [8-13], які забезпечують вирішення завдань охорони та захисту об'єктів, що охороняються. Знання закономірностей впливу вологості повітря на дальність виявлення радіолокаційних цілей дозволить проводити точні розрахунки дальностей виявлення цих радіолокаційних станцій [14-16] і, як наслідок, підвищить ступінь забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури та інших стратегічних об'єктів, що охороняються.

Мета роботи – розглянути функціональні залежності впливу вологості повітря на дальність виявлення цілей, що атакують об'єкти критичної інфраструктури України, що охороняються.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання. Спочатку розглянути математичні закономірності процесу радіолокаційного виявлення цілей. Потім описати коефіцієнти згасання електромагнітних хвиль у приземних шарах атмосфери. Після чого показати вплив величини відносної вологості приземних шарів атмосфери на дальність виявлення малої повітряної цілі.

Виклад основного матеріалу

В основі виявлення цілей радіолокації лежить математична залежність (1), тобто

$$\Psi(D, f) \geq \frac{1}{2} \Pi_{\text{ерлс}}(\delta, P_{\text{пр}}, K_{\text{нід}}, \lg P_i, S_{RO}) \quad (1)$$

Тут права частина залежності визначає енергетичний потенціал радіолокаційної станції (РЛС), який є постійною величиною для певної РЛС по конкретній цілі. Ліва частина залежності визначає закономірність спаду інтенсивності зондуючої електромагнітної хвилі (ЕМХ), що випромінюється РЛС.

Математична залежність (2) описує закономірність спаду ЕМХ при її поширенні у приземних шарах атмосфери, тобто

$$\Psi(D, f) = 20 \lg \frac{I_f}{I_0} = -(20 \lg D + 2K + 2\beta D_{\text{км}}) \quad (2)$$

SECTION 6.

SCIENCES MILITAIRES, SÉCURITÉ NATIONALE ET SÉCURITÉ DE LA FRONTIÈRE DE L'ÉTAT

де:

β – коефіцієнт згасання ЕМХ, Дб/км,

D – поточна відстань від джерела ЕМХ в м,

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

I_0 – інтенсивність випромінюваної ЕМХ на відстані одного метра від джерела випромінювання,

I_t – поточне значення інтенсивності ЕМХ,

$K = 10 \cdot \lg 4\pi \approx 10,98$ дБ,

f – зондуєча частота РЛС.

Значення коефіцієнтів згасання для різних довжин ЕМХ за нормальних умов у приземних шарах атмосфери наведено в таблиці 1

Таблиця 1

**Значення коефіцієнтів згасання для різних довжин ЕМХ
за нормальних умов у приземних шарах атмосфери**

Довжина ЕМХ, см	Частота ЕМХ, ГГц	Коеф. згасання Дб/км
10	3	0,015
3	10	0,09
1	30	0,8
0,3	100	1,5
0,1	300	3,5

[авторська розробка]

Слід зазначити, що під нормальними кліматичними умовами розуміють такі показники нижніх шарів атмосфери. Температура повітря 25°C (від 15 до 30) та відносна вологість 60% (від 45 до 85). Ці умови отримали назву нормальних умов в приземних шарах атмосфери.

Масив даних, підготовлений для статистичної екстраполяції, був розбитий на чотири групи залежно від частоти зондуєчої ЕМХ. Перша – це дані на частоті 3 ГГц або довжині хвилі 10 см. Друга – дані на частоті 6 ГГц або довжині хвилі 5 см. Третя – результати на частоті 10 ГГц або довжині хвилі 3 см. Четверта – це дані на частоті 30 ГГц або довжині хвилі 1 см.

У свою чергу, кожна група розбивалася на три підгрупи. Перша підгрупа, де параметр відносної вологості не перевищував 60%. Друга, де відносна вологість змінювалася від 60 до 90%, але не перевищувала його. Третя підгрупа включала дані, в яких відносна вологість становила від 90 до 100%, включаючи результати, зафіксовані під час слабкого дощу (опадів малої інтенсивності).

В основу центральної гіпотези покладено лінійну регресійну модель виду (3)

$$\beta_f(s\%) = K_{i,f}(s\%) \cdot \beta_f^0 \quad (3)$$

де:

$\beta_f(s\%)$ – фактичне значення коефіцієнта об'ємного згасання при конкретній величині відносної вологості ($s\%$) в приземному шарі атмосфери;

$K_{i,f}(s\%)$ – лінійна регресія, отримана методом найменших квадратів, при обробці однієї з підгруп масиву даних;

β_f^0 – базове або опорне значення коефіцієнта об'ємного згасання в приземному шарі атмосфери за нормальних умов. Ці значення наведені в таблиці 1.

Для кожної групи масиву даних отримано по три лінійні регресії (4) – (7)

$$\left. \begin{aligned} K_{1,10} &= 1 + 0,0066(s\% - 60\%) \\ K_{2,10} &= 1 + 0,0066(s\% - 60\%) \\ K_{3,10} &= 1,2 + 0,06(s\% - 90\%) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} K_{1,5} &= 1 + 0,0133(s\% - 60\%) \\ K_{2,5} &= 1 + 0,0133(s\% - 60\%) \\ K_{3,5} &= 2 + 0,23(s\% - 90\%) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} K_{1,3} &= 1 + 0,0166(s\% - 60\%) \\ K_{2,3} &= 1 + 0,0766(s\% - 60\%) \\ K_{3,3} &= 3,3 + 0,48(s\% - 90\%) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} K_{1,1} &= 1 + 0,0216(s\% - 60\%) \\ K_{2,1} &= 1 + 0,1533(s\% - 60\%) \\ K_{3,1} &= 5,6 + 0,96(s\% - 90\%) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Систематизуючи їх, можна отримати загальний вигляд залежності лінійної регресії, що описує ступінь згасання електромагнітних хвиль у приземних шарах атмосфери від величини її відносної вологості, тобто

$$K_{i,f}(s\%) = a_{i,f}^0 + b_{i,f}(s\% - s_i^0\%) \quad (8)$$

SECTION 6.

SCIENCES MILITAIRES, SÉCURITÉ NATIONALE ET SÉCURITÉ DE LA FRONTIÈRE DE L'ÉTAT

де:

$a_{i,f}^0$ – регресійний коефіцієнт, базове чи опорне значення, що визначається за частотою (довжиною) хвилі f і номеру підгрупи i ;

$b_{i,f}$ – регресійний коефіцієнт, що описує лінійну залежність, що визначається за частотою (довжиною) хвилі f і номеру підгрупи i ;

s_i^0 % – базове або опорне значення відносної вологості, що визначається за номером підгрупи i .

З метою графічної ілюстрації впливу величини відносної вологості приземних шарів атмосфери на дальність виявлення малих повітряних цілей, був зроблений розрахунок і побудовані закономірності спаду інтенсивності ЕМХ, що поширюється, довжиною 3см для п'яти варіантів відносної вологості повітря. Перший – 45%, другий – 60%, третій – 75%, четвертий – 90% та п'ятий – 100%. З урахуванням того, що енергетичний потенціал РЛС ближнього виявлення повітряних цілей відносно малої повітряної цілі дорівнює -184,5 Дб, то отримаємо, як показано на рис.1, найбільшу дистанцію виявлення рівну 3,7 км.

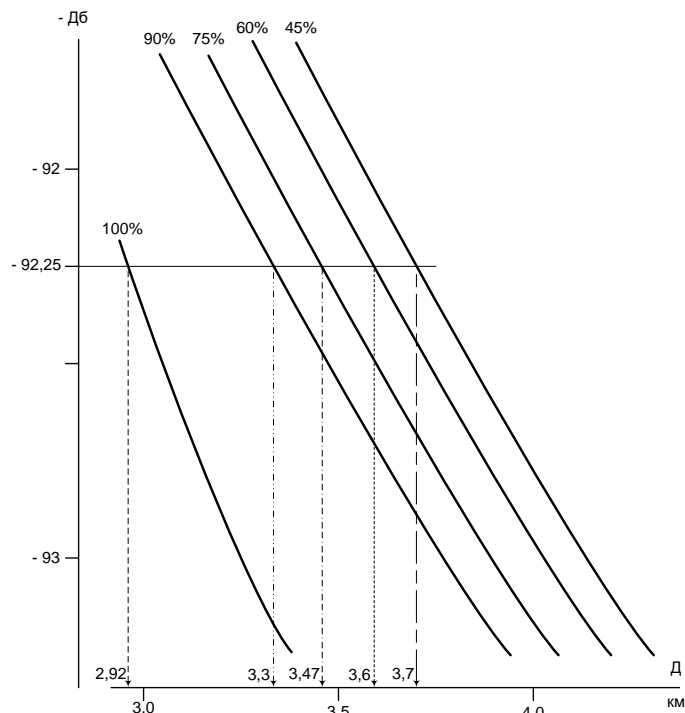


Рис. 1. Графічна ілюстрація впливу величини відносної вологості приземних шарів атмосфери на дальність виявлення малої повітряної цілі

Збільшення відносної вологості до 60% і до 75% призводить до зменшення дальності виявлення до 3,6 км і до 3,47 км. Подальший ріс відносної вологості до 90% та 100% викликає скорочення дальності виявлення малої повітряної цілі до 3,3 км та 2,92 км.

Висновки

Таким чином, величина відносної вологості приземних шарів атмосфери впливає на дальність виявлення безпілотних ударних літальних апаратів радіолокаційними станціями. Зменшення величини відносної вологості атмосфери призводить до зростання дальності виявлення цілей радіолокації. І навпаки, збільшення величини відносної вологості повітря викликає зменшення дальності виявлення цілей, мінімум якої досягається при максимальній вологості, що дорівнює ста відсоткам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [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. 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.
- [5] Азаренко О.В., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Камишенцев Г.В., Фаррахов О.В. (2024). Аналіз деяких аспектів терористичних вплив ударними дронами. Collection of scientific papers «Λ'ΟΓΟΣ», (February 2, 2024; Oxford, UK), 128–133. <https://doi.org/10.36074/logos-02.02.2024>.
- [6] Азаренко О.В., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Камишенцев Г.В., Фаррахов О.В. (2024). Деякі аспекти класифікації безпілотних літальних апаратів в інтересах захисту об'єктів критичної інфраструктури. Scientific Collection «InterConf+», (43(193)), 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] Дивізінюк, М.М., Азаренко, Е.В., Гончаренко, Ю.Ю., Лазаренко, С.В., Ожиганова, М.І. (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 О.В., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Землянський О.М., Фаррахов О.В. (2024). Основні закономірності процесу виявлення цілей імпульсними радіолокаційними станціями при забезпеченні безпеки об'єктів критичної

SECTION 6.

SCIENCES MILITAIRES, SÉCURITÉ NATIONALE ET SÉCURITÉ DE LA FRONTIÈRE DE L'ÉTAT

- інфраструктури. Scientific Collection «InterConf+», (45(201)), 650–660. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2024.067>.
- [10] Азаренко О.В., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Землянський О.М., Фаррахов О.В. (2024). Закономірності поширення, згасання та спаду Інтенсивності електромагнітних хвиль в атмосфері, що впливають на експлуатацію радіолокаційних станцій, які забезпечують безпеку об'єктів критичної інфраструктури. Grail of Science. (40), 235–248. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.07.06.2024>.
- [11] Азаренко О.В., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Землянський О.М., Фаррахов О.В. (2024). Характеристика енергетичного потенціалу станцій радіолокації, що забезпечують безпеку об'єктів критичної інфраструктури та властивостей відображення малих повітряних цілей. Scientific Collection «InterConf+», (46(205)), 549–561. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.06.2024.052>.
- [12] David J. Griffiths. (1998). Introduction to electrodynamics. Prentice Hall, Upper Saddle, New Jersey.
- [13] Adams R.A. (1975). Sobolev Spaces. New York: Academic Press.
- [14] Тихонов А.Н. (1978). Математические задачи компьютерной томографии. Москва. Наука.
- [15] Азаренко О.В., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Фаррахов О.В., Сівоха І.М. (2024). Варіант рішення теоретичного завдання зворотного розсіювання для відновлення образу малої повітряної цілі. Grail of Science. (41), 195–203. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.05.07.2024.029>.
- [16] Азаренко О.В., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Єременко С.А., Романюк І.П., Фаррахов О.В. (2024). Варіант перетворення потоку електромагнітних променів, відображених від малої повітряної цілі. Collection of scientific papers «Λ'ΟΓΟΣ» (July 19, 2024, Boston, USA), 109–115. <https://doi.org/10.36074/logos-19.07.2024.018>.