

DOI: 10.34132/ers.2024.01.02.10.
УДК 502.174:614.875[355.01](470:477)

Черненко Д. О.,
Аспірант кафедри екології
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003
e-mail: dim.chernenko@chmnu.edu.ua
ORCID: 0009-0000-7449-2413

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА СУЧАСНІ СОЦІОЕКОСИСТЕМИ ВІД СИСТЕМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ БОРОТЬБИ У ПЕРІОД РОСІЙСЬКОЇ АГРЕСІЇ ПРОТИ УКРАЇНИ

Анотація. Моделювання електромагнітного навантаження на соціоекосистеми від систем електромагнітної боротьби може дати змогу зрозуміти потенційні екологічні ризики та впливи, які ведення сучасної війни може мати на міські середовища. Зокрема, в умовах російської агресії проти України, значне використання РЕБ може мати як безпосередній, так і довготривалий вплив.

Автор намагається дослідити та змодельовати ступінь впливу РЕБ на соціоекосистему України.

Стаття є важливим внеском у вивчення екологічних наслідків воєнних конфліктів і може бути корисною для дослідників у галузі екології.

Ключові слова: забруднення навколишнього середовища, екологічні наслідки війни в Україні, відновлення довкілля, РЕБ, електромагнітне навантаження.

MODELING OF ELECTROMAGNETIC POLLUTION LOAD ON SOCIOSYSTEMS BY ELECTROMAGNETIC WARFARE SYSTEMS DURING THE PERIOD OF RUSSIAN AGGRESSION AGAINST UKRAINE

Abstract. Modeling the electromagnetic pollution load on urban ecosystems from electromagnetic warfare (EMW) systems can provide insight into the potential environmental risks and impacts that modern warfare can have on urban environments. In particular, in the context of Russian aggression against Ukraine, the significant use of EW can have both immediate and long-term effects.

The author tries to investigate and model the degree of impact of EW on the socio-ecosystem of Ukraine.

The paper is an important contribution to the study of the environmental consequences of military conflicts and may be useful for researchers in the field of ecology.

Keywords: environmental pollution, ecological consequences of the war in Ukraine, environmental restoration, EW, electromagnetic pollution.

Мета. Моделювання та аналіз електромагнітного навантаження на сучасні соціоекосистеми від систем електромагнітної боротьби в умовах воєнного конфлікту, зокрема під час російської агресії проти України. Основною метою є оцінка потенційних екологічних ризиків та впливів, які можуть виникнути в результаті застосування РЕБ в урбанізованих та інших важливих для життєдіяльності суспільства середовищах. Дослідження має на меті змодельовати довготривалі наслідки таких впливів для природних та соціальних систем.

Вступ. У період російської агресії проти України спостерігається зростаюче використання технологій електромагнітної боротьби. Ці системи призначені для забезпечення переваги на полі бою через перешкоди, придушення або знищення ворожих електронних систем. Використання таких систем може несвідомо спричинити значний екологічний вплив на соціоекосистеми. Використання систем радіоелектронної боротьби не обмежується лише зонами конфліктів. Вони широко застосовуються навколо важливих інфраструктурних об'єктів далеко від лінії зіткнення. РЕБ може бути ефективно використане для захисту енергетичних установок, аеропортів, комунікаційних центрів, водопостачальних систем та інших критичних об'єктів від можливих загроз, таких як несанкціоноване використання дронів або інших безпілотних літальних апаратів, що можуть бути використані для розвідувальних місій або навіть терористичних атак. Системи РЕБ можуть виявляти, перехоплювати та нейтралізувати радіосигнали, які керують дронами, ефективно блокуючи їх можливість збирати інформацію або наносити шкоду об'єктам. Такі системи можуть бути розміщені навколо об'єктів, що вимагають особливого захисту проти несанкціонованого доступу з повітря.

Формулювання цілей статті. Автором дослідження поставлені такі цілі:

1. Аналізувати електромагнітне навантаження, яке створюють системи електромагнітної боротьби на урбанізовані та інші важливі соціоекосистеми в умовах воєнного конфлікту.
2. Оцінити потенційний екологічний та соціальний вплив цього навантаження на міські середовища, з особливим акцентом на здоров'я населення, інфраструктурну стійкість та природне довкілля.

3. Розробити методологічний підхід до моделювання електромагнітних впливів, використовуючи сучасні технічні та аналітичні інструменти для визначення кількісних і якісних характеристик впливів РЕБ.

4. Прогнозувати довгострокові наслідки для екосистем та соціальних систем.

Виклад основного матеріалу дослідження

1. Радіоелектронна боротьба та електромагнітна війна (РЕБ)

Радіоелектронна боротьба відіграє ключову роль у сучасних воєнних операціях. РЕБ, або електромагнітна війна передбачає використання електромагнітного спектра та спрямованої енергії для контролю спектру, нападу на ворога або перешкоджання ворожим операціям. Основною метою електромагнітної війни є позбавлення супротивника переваги та забезпечення для дружніх військових підрозділів безперешкодного доступу до електромагнітного спектру. Використання електромагнітної війни може мати різноманітні аспекти, залежно від конкретної ситуації та цілей воєнних операцій. Вона може застосовуватися як з повітря, моря, землі, так і з космосу, використовуючи як системи з екіпажем, так і безекіпажні системи. У своїй сутності електромагнітна війна може бути спрямована на різні види військових та цивільних засобів, зокрема на зв'язок, радары, системи навігації та інші електронні пристрої. Вона може включати в себе такі дії, як перехоплення комунікацій, перешкоджання роботі радарів, спотворення радіосигналів та багато іншого. Усі ці дії виконуються з метою забезпечення переваги власним військам у конфлікті, перешкоджання ворожим операціям та забезпечення безпеки та ефективності воєнних дій. Електромагнітна війна відіграє важливу роль у сучасній військовій стратегії та є невід'ємною частиною комплексного підходу до забезпечення національної безпеки та оборони. [1]

Основні принципи електромагнітної боротьби включають різноманітні заходи для придушення комунікаційних каналів, супутникової навігації та роботи радіолокаційних систем. Детальніше про ці принципи:

Придушення каналів зв'язку. Включає заходи для приглушення чи перехоплення радіо та супутникових зв'язків ворога. Використовуються різні техніки, включаючи створення перешкод, шумів, імітацію сигналів та інші методи, щоб унеможливити або ускладнити здійснення комунікацій.

Придушення супутникової навігації. Спрямовані дії на перешкоджання сигналам супутникових навігаційних систем, таких як GPS, GLONASS або Galileo. Може включати засліплення або імітацію супутникових сигналів, що може призвести до втрати або спотворення здатності до навігації ворожих систем.

Придушення РЛС та оглядових радарів. Втручання в роботу радіолокаційних систем, включаючи придушення сигналів від радарів або імітація хибних цілей для введення їх в оману. Застосовується шумові імпульси, перешкоди або активні протирадарні заходи для ускладнення або навіть блокування роботи радарів противника.

Ці принципи РЕБ є ключовими для забезпечення електромагнітної переваги на полі бою та створення умов для успішного виконання військових операцій. Їх застосування дозволяє знижувати ефективність ворожих комунікацій, навігаційних засобів та радіолокаційних систем, що важливо для забезпечення безпеки та успішності воєнних дій.

2. Порівняльний аналіз комплексів РЕБ України та НАТО з комплексами РЕБ ЗС РФ

Війна в Україні продемонструвала важливість систем радіоелектронної боротьби (РЕБ) для захисту від ворожих безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та інших засобів ведення радіоелектронної війни. Нижче проведено порівняльний аналіз комплексів РЕБ, що використовуються Україною та НАТО, з комплексами РЕБ ЗС РФ [2], [3]. **Класифікація комплексів РЕБ:**

Ротно-батальйонна ланка – комплекси призначені для захисту невеликих підрозділів на полі бою.

Бригадна ланка – ці комплекси мають більшу дальність дії та потужність, і можуть використовуватися для захисту цілих бригад.

Спеціалізовані комплекси – призначені для виконання певних завдань, наприклад, захисту від радарів противника або протидії БПЛА [4].

Малогабаритні, модульні та носимі комплекси – малопотужні комплекси що можуть використовуватися окремими солдатами [5].

Таблиця 1. – Порівняльна таблиця систем РЕБ:

Клас	Комплекс РЕБ України та НАТО	Комплекс РЕБ ЗС РФ	Дальність дії	Потужність	Діапазон частот	Функції
Ротно-батальйонна ланка	AUDS	Леер 2	2-4 км	100 Вт	20-400 МГц	Придушення каналів зв'язку БПЛА
Ротно-батальйонна ланка	M-LIDS	Сілок	2-4 км	100 Вт	20-400 МГц	Придушення каналів зв'язку БПЛА

Клас	Комплекс РЕБ України та НАТО	Комплекс РЕБ ЗС РФ	Дальність дії	Потужність	Діапазон частот	Функції
Ротно-батальйонна ланка		Лорандит Леер 3	6 км	200 Вт	20-600 МГц	Придушення каналів зв'язку БПЛА
Бригадна ланка	TEWS - Tactical Electronic Warfare System та TEWS-I Tactical Electronic Warfare System Infantry	Борисоглебськ 2	20-40 км	1 кВт	20-3000 МГц	Придушення каналів зв'язку, супутникової навігації та РЛС
Бригадна ланка	AN/MLQ-44A Prophet	Репелент 1	20-30 км	1 кВт	200-600 МГц	Придушення каналів зв'язку БПЛА, супутникової навігації та РЛС
Бригадна ланка	TLS-BCT - Terrestrial Layer System-Brigade Combat Team	P-330У Мандат Б1 Е	30 км	1,5 кВт	1,5-1000 МГц	Придушення каналів зв'язку, супутникової навігації та РЛС
Бригадна ланка	Thales TRC 274 SDJ V/UHF Jammer	P-340РП «Поле-21»	25 км	1,5 кВт	20-3000 МГц	Придушення каналів зв'язку, супутникової навігації та РЛС
Бригадна ланка	НОТА	P-330Ж «Житель»	15 км	500 Вт	100-2000 МГц	Придушення каналів зв'язку, супутникової навігації та РЛС
Бригадна ланка	Буковель	РБ-109А «Биліна»	15-20 км	500 Вт	20-3000 МГц	Придушення каналів зв'язку, супутникового зв'язку

3. Види перешкод в радіоелектронній боротьбі

Одним з ключових інструментів РЕБ є створення перешкод, що спрямовані на придушення або спотворення ворожих радіосигналів. Залежно від методу та цілей впливу, перешкоди в РЕБ можна поділити на такі категорії:

3.1 Точкова перешкода:

- Вузькосмугова, концентрована дія, спрямована на певний канал або частоту.
- Перешкоджає роботі конкретних радіоелектронних систем, наприклад, станцій зв'язку або радарів.
- Неефективна проти сигналів з псевдо випадковим кодом (ППРЧ) через їх стійкість до вузькосмугових перешкод.

3.2. Плаваюча перешкода:

- Широкосмугова динамічна дія, що хаотично змінює частоту в межах певного діапазону.
- Створює складні умови для роботи ворожих радіоелектронних систем, змушуючи їх постійно перебувати в режимі пошуку вільного каналу.

- Має обмежену ефективність проти ППРЧ, які можуть частково проникати через імпульси перешкоди.

3.3. Суцільна перешкода:

- Широкосмугова, стаціонарна дія, що блокує весь спектр частот в певному діапазоні.
- Максимально ускладнює роботу будь-яких радіоелектронних систем в зоні впливу.
- Вимагає значних ресурсів та потужності для реалізації.
- Ефективним методом створення суцільної перешкоди є використання пристроїв прямого цифрового синтезу (DDS).
- Забезпечує щільну перешкоду, яка значно знижує ймовірність прориву корисного сигналу.

3.4. Розумна перешкода:

- Інтелектуальна дія, що аналізує ворожі сигнали та генерує динамічні перешкоди, максимально адаптовані до конкретної ситуації.
- Найсучасніший та найефективніший метод РЕБ.
- Застосовується в складних комплексах РЕБ, які здатні перехоплювати, аналізувати та імітувати ворожі сигнали.
- Прикладами розумних перешкод є «спуфери», що здатні підмінювати сигнали GPS, призводячи до дезорієнтації ворожих навігаційних систем.
- Складність виявлення та нейтралізації розумних перешкод робить їх потужним інструментом РЕБ.

4. Розрахунок потужності сигналу на передавачі, з урахуванням різних факторів, що впливають на його поширення.

Щоб спрогнозувати охоплення, нам спочатку потрібно знати ERP – ефективну випромінювану потужність усієї передавальної системи.

$ERP = \text{потужність у ватах} \times 10^{((\text{коефіцієнт підсилення антенної системи дБ})/10)}$

Розрахуємо ERP передавача РЕБ із наступними параметрами:

Початкова потужність (P_{in}) = 1500 Вт

Підсилення (G) = 8 дБ - 0.69 дБ = 7.31 дБ (з урахуванням втрат в кабелі довжиною 60 метрів)

$ERP = 1500 \text{ Вт} \times 10^{(7.31 \text{ дБ} / 10)} = 1500 \text{ Вт} \times 5.382 \approx 8074 \text{ Вт}$

Розрахунок показує, що система ефективно випромінює сигнал потужністю близько 8074 Вт. Це значення в 5.382 рази більше ніж початкова потужність 1500 Вт завдяки підсиленню, яке забезпечує антена (7.31 дБ).

Це теоретичний розрахунок, який не враховує всіх факторів, що впливають на поширення сигналу в реальних умовах (наприклад, навколишнє середовище, перешкоди). Для більш точного оцінювання зони покриття та рівня сигналу необхідний комплексний аналіз з урахуванням цих факторів.

Що б побудувати карту покриття для такого передавача РЕБ скористаємось OpenStreetMap та бібліотекою моделювання проходження сигналу [6]. Оберемо точкою розміщення передавача місто Миколаїв. Висота щогли 60 метрів над рівнем моря. (Рис. 1 та Рис. 2)

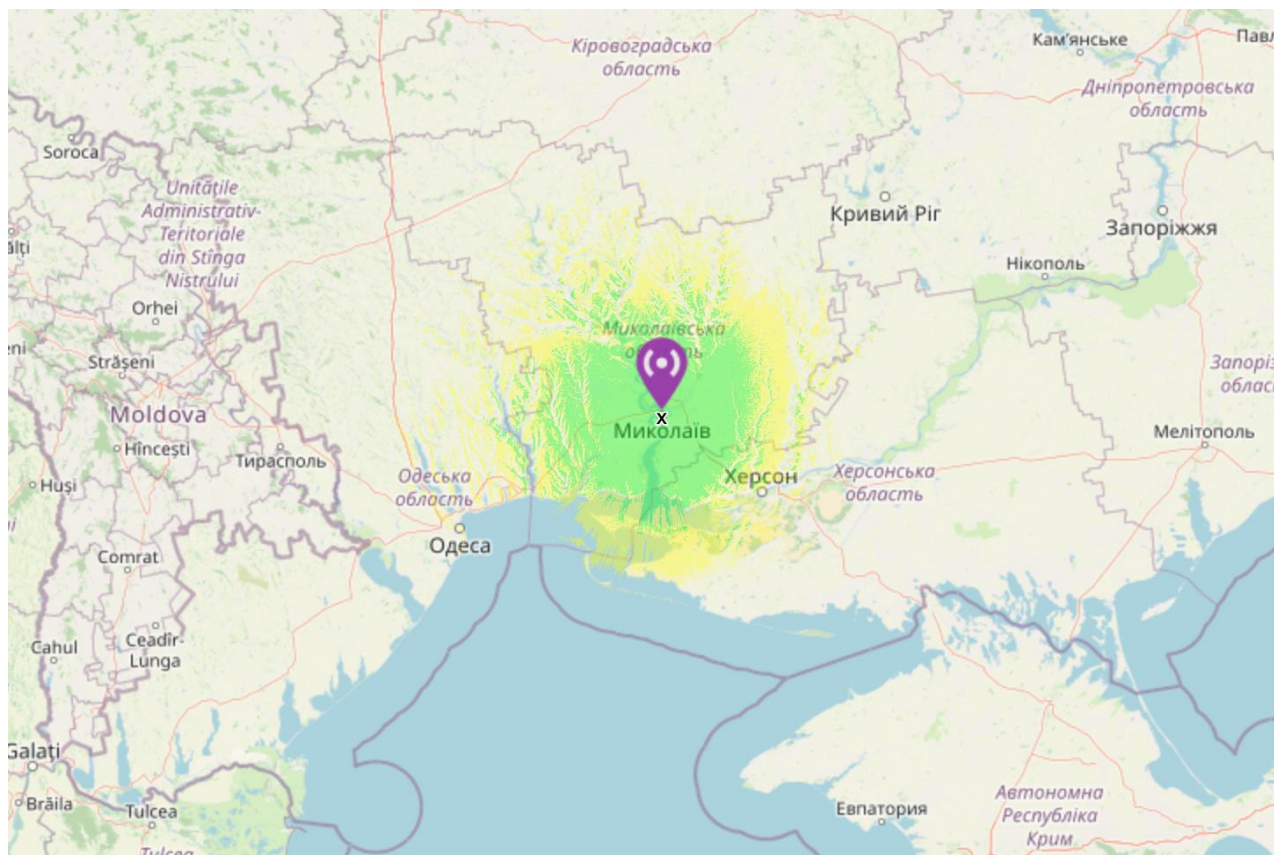


Рис. 1. Теоретичний розрахунок зони покриття РЕБ передавача.

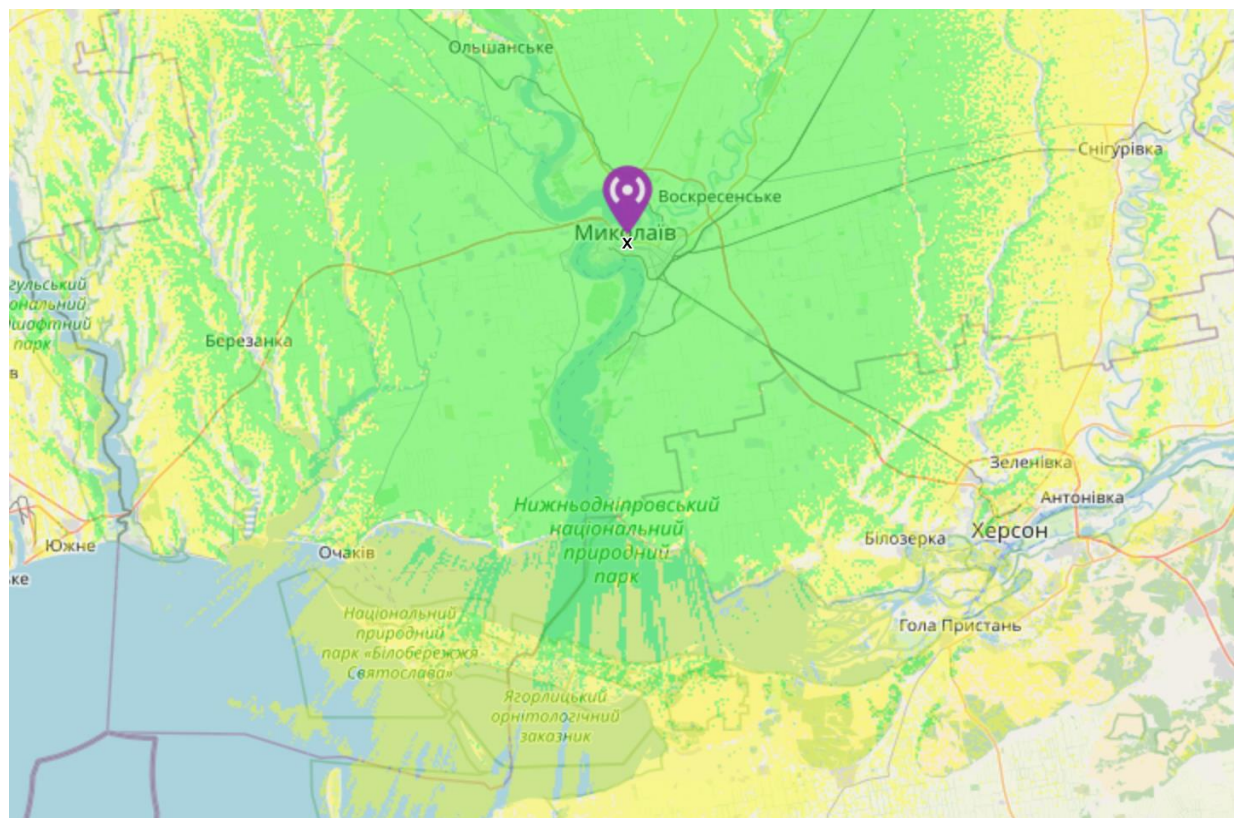


Рис. 2. Теоретичний розрахунок зони покриття РЕБ передавача більш детально.

4. Негативний вплив від систем РЕБ

Крім очікуваного впливу на хід бойових дій, РЕБ несе в собі значні екологічні та соціальні ризики, особливо в урбанізованих соціоекосистемах [7].

Наукові дослідження свідчать про те, що електромагнітне забруднення від систем РЕБ може призвести до пошкодження ДНК, порушення роботи нервової та імунної систем, а також до загибелі птахів, бджіл та інших тварин. Довготривале опромінення може спричинити головні болі, втому, порушення сну, а також серйозніші проблеми зі здоров'ям, такі як рак [8]. Електромагнітні хвилі відбиваються від будівель та інших об'єктів, що призводить до посилення їх впливу на людей та екосистеми.

Згідно наказу МОЗ №266 від 23 травня 2017 гранично допустимий рівень ЕМП (ERP) для радіотехнічних об'єктів був підвищений. Важливо зазначити, що дані санітарні норми та правила містять не лише норми, але й основні положення гігієнічних вимог до засобів випромінювання, а також методичні вказівки до них. Їх мета – регламентувати умови експлуатації та розміщення цих засобів з метою захисту здоров'я населення від впливу ЕМП. Санітарні норми встановлюють гранично допустимі рівні ЕМП для різних територій, включаючи житлові, громадські, дитячі та спортивні майданчики. Для захисту людей від ЕМП також встановлюються санітарно-захисні зони та зони обмеження забудови. Розміщення та експлуатація радіотехнічних об'єктів на дахах та у приміщеннях житлових, громадських та інших будівель дозволяється, якщо рівень ЕМП не перевищує гранично допустимих норм. [9]

Дослідження також показують зв'язок між роботою в професіях із середнім або високим впливом електромагнітного поля надзвичайно низької частоти (до 300 Гц) та випадками хвороби Альцгеймера. Аналіз даних проводився на пацієнтах з трьох незалежних клінічних серій: Університет Гельсінкі (Фінляндія), лікарня Коскела (Фінляндія) та Центр досліджень хвороби Альцгеймера (Лос-Анджелес, США). Загальне співвідношення шансів становить 3.0 ($p < 0,001$), що говорить про трикратне зростання ризику захворювання. Найбільш вірогідним впливом вважається саме електромагнітне поле, яке може негативно впливати на кальцієвий баланс та активувати клітини імунної системи, що призводить до нейродегенерації. [10]

Зважаючи на проведений аналіз можна зробити висновок що використання розумних РЕБ, які активуються лише при виявленні цілі, є ключовим фактором у мінімізації негативного впливу. Ці інтелектуальні системи дозволяють локалізувати та нейтралізувати ворожі сигнали, знижуючи загальне електромагнітне навантаження на навколишнє середовище.

Важливо зазначити, що дослідження впливу РЕБ на екосистеми та людей все ще перебуває на ранній стадії. Потрібні додаткові дослідження для кращого розуміння ризиків та розробки ефективних методів їх мінімізації.

Висновки.

Системи радіоелектронної боротьби відіграють критичну роль у сучасних воєнних конфліктах, як це видно з використанням їх у війні в Україні. Ефективність РЕБ у перешкоджанні та контролі комунікацій ворога, навігаційних систем і дронів, забезпечує значну стратегічну перевагу на полі бою. Застосування РЕБ у захисті критично важливої інфраструктури є особливо важливим для запобігання терористичних атак і розвідувальних місій, що підкреслює їх значення в сучасних воєнних стратегіях. Незважаючи на воєнну ефективність, екологічний вплив РЕБ не можна ігнорувати. Випромінювання, яке вони створюють, може мати довготривалі негативні наслідки для міських екосистем та здоров'я населення. Розробка та впровадження інтелектуальних систем РЕБ, які активуються тільки при необхідності, може допомогти мінімізувати цей негативний вплив. Крім того, потрібні додаткові дослідження для повного розуміння екологічних наслідків та розробки ефективних заходів зниження впливу цих систем на екосистеми та здоров'я людей. Наукове співтовариство, уряди та військові організації мають працювати разом для забезпечення балансу між воєнною потребою та екологічною безпекою. Застосування новітніх технологій та постійний моніторинг екологічного впливу систем РЕБ можуть забезпечити виконання воєнних завдань з мінімізацією шкоди для природного середовища та здоров'я населення.

Список використаних джерел

1. Чому засоби радіоелектронної боротьби та розвідки набувають дедалі більшого значення. https://defence-ua.com/weapon_and_tech/oslipiti_voroga-5857.html. (дата звернення: 21.03.2024)
2. Аналіз арсеналу РЕБ РФ. https://defence-ua.com/weapon_and_tech/radioelektronna_borotba_jak_i_chim_rosija_vojuje_proti_ukrajini-708.html. (дата звернення: 24.02.2024)
3. ЗАСОБИ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ ВОРОГА. <https://sprotyvg7.com.ua/lesson/zasobi-radioelektronnoi-borotbi-voroga> (дата звернення: 30.04.2024)
4. США замовили системи M-LIDS проти дронів. <https://mil.in.ua/uk/news/ssha-zamovyly-systemy-m-lids-proty-droniv/> (дата звернення: 30.04.2024)
5. Україні передали антидронові системи AUDS. <https://mil.in.ua/uk/news/ukrayini-peredaly-antydronovi-systemy-auds/> (дата звернення: 30.04.2024)
6. Моделювання радіо покриття. <https://support.nautel.com/rf-toolkit/radio-coverage-tool/> (дата звернення: 30.04.2024)
7. Перга Т. Ю. Екологічні наслідки війни Росії проти України. <https://ivinas.gov.ua/viina-rf-proty-ukrainy/ekolohichni-naslidky-viiny-rosii-proty-ukrainy.html> (дата звернення: 24.02.2023).
8. Нікітіна Н.Г. Вплив електромагнітних випромінювань на здоров'я населення (науковий огляд). Гігієна населених місць. 2007. № 50. С. 209–214.
9. Норми і правила захисту населення від впливу електромагнітного випромінювання. <https://consumer-cv.gov.ua/blog/2018/12/05/normy-pravyla-zahystu-naselennya-vid-vplyvu-elektromagnitnogo-vyprominyuvannya/>. (дата звернення: 12.03.2024)
10. Sobel E., Davanipour Z., Sulkava R. та ін. Occupations with Exposure to Electromagnetic Fields: a Possible Risk Factor for Alzheimer's Disease. American Journal of Epidemiology. 1995. URL: <http://aje.oxfordjournals.org/content/142/5/515>.