

УДК: 623.62 (477)

DOI: 10.33099/2311-7249/2026-55-1-108-117

САЛІЙ Олександр Ярославович,

кандидат військових наук,
Національний університет оборони України, Київ, Україна,
<https://orcid.org/0000-0002-6876-2170>

ТИЩУК Сергій Олександрович,

кандидат технічних наук, доцент,
Національний університет оборони України, Київ, Україна,
<https://orcid.org/0000-0002-9661-5493>

КОРБА Віталій Георгійович,

Національний університет оборони України, Київ, Україна,
<https://orcid.org/0009-0000-2911-4421>

НАУКОВО-МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСТУ ПУНКТІВ УПРАВЛІННЯ АРМІЙСЬКОГО КОРПУСУ ВІД УДАРНИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ЗБРОЇ

Мета статті. Розроблення та обґрунтування науково-методичного підходу до оцінювання ефективності захисту пунктів управління армійського корпусу від ударних безпілотних літальних апаратів із застосуванням електромагнітної зброї спрямованої енергії для підвищення рівня живучості органів військового управління в умовах інтенсивних повітряних атак противника.

Методи дослідження. Під час написання статті застосовано методи системного аналізу, теорії ймовірностей, математичної статистики та теорії розповсюдження електромагнітних хвиль. Запропонований науково-методичний підхід дає змогу сформулювати дієвий підхід оцінювання живучості пунктів управління під час масованого використання ударних безпілотних літальних апаратів.

Отримані результати дослідження. Розроблено науково-методичний підхід до оцінювання ефективності захисту пунктів управління армійського корпусу від ударних безпілотних літальних апаратів із застосуванням електромагнітної зброї спрямованої енергії. У статті розглянуто теоретичні засади та результати практичного застосування ударних безпілотних літальних апаратів для ураження пунктів управління армійських корпусів. Проаналізовано еволюцію безпілотних технологій від примітивних засобів розвідки до високопотужних наступальних платформ, здатних виконувати як кінетичні операції, так і функціональні порушення

Елементи наукової новизни Вперше розроблено науково-методичний підхід до оцінювання ефективності захисту пунктів управління армійського корпусу від ударних безпілотних літальних апаратів, який базується на математичному описі процесів ураження із застосуванням електромагнітної зброї.

Теоретична та практична значущість статті. Розроблений науково-методичний підхід дає змогу обґрунтувати раціональні параметри системи прикриття пунктів управління армійського корпусу за допомогою електромагнітної зброї в умовах масованого застосування ударних безпілотних літальних апаратів противником, що являється безальтернативним шляхом для забезпечення живучості органів військового управління військами.

Ключові слова: армійський корпус, пункт управління, ударний безпілотний літальний апарат, електромагнітна зброя, радіоелектронна боротьба, електромагнітний спектр, живучість, протиповітряна оборона.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді. У сучасному контексті збройних конфліктів ударні безпілотні літальні апарати (далі – УБПЛА), які часто називають «блукаючими боєприпасами» або «дронами-камікадзе», набули значного поширення як основний засіб боротьби з тактичними та оперативними силами противника. Це особливо стосується центрів управління та контролю, зокрема, пунктів управління (далі – ПУ) на рівні армійських

корпусів і бригад. У першу чергу це пов'язано зі стрімким зростанням масовості їх застосування, а також з еволюцією розвитку різноманітних тактик застосування УБПЛА та модернізацією їх тактико-технічних характеристик.

До цих тактико-технічних характеристик належать низька помітність для систем виявлення, порівняно невисокі виробничі та експлуатаційні витрати, здатність до організації масових, комбінованих атак,

автономні профілі польоту та їх безперервна інтеграція в сучасні системи управління та бойового застосування. Зазначена тактика передбачає проведення бойових дій із застосуванням УБпЛА та комбінованих засобів ураження, що може включати в себе артилерійський обстріл та точні ракетні удари. У сукупності це формує комплексну системну загрозу стійкості та надійності ПУ на оперативних театрах воєнних дій, що за певних умов може призводити до втрати оперативної спроможності військових формувань.

У відповідь на постійну еволюцію та ескалацію загроз, зокрема, з боку УБпЛА, формується нова парадигма протистояння, що акцентує увагу на економічній ефективності нейтралізації. З метою успішної боротьби з масованими атаками УБпЛА розробляються більш доступні та систематичні механізми побудови ешелонованої системи захисту. Вона охоплює широкий спектр заходів, включаючи засоби радіоелектронної боротьби (далі – РЕБ), традиційні комплекси протиповітряної оборони (далі – ППО), фізичне укріплення критичних об'єктів та ПУ, а також стратегічну оптимізацію їхньої дислокації та географічного рознесення.

Водночас, стрімкий технологічний прогрес у галузі зброї спрямованої енергії (Directed Energy Weapons (далі – DEW)), зокрема, високоенергетичних та потужних мікрохвильових (High-Power Microwave (далі – НРМ)) і радіочастотних імпульсних систем, відкриває багатообіцяючі перспективи для створення високоєфективних та економічно вигідних засобів боротьби з безпілотним авіаційним системами. Ці передові технології дають змогу забезпечувати миттєве та надзвичайно точне ураження загроз зі швидкістю світла, суттєво мінімізуючи операційні витрати на боєприпаси та знижуючи ризики супутніх пошкоджень.

Однак, повноцінна інтеграція DEW-систем до існуючої багаторівневої системи захисту ПУ зіштовхується з низкою комплексних викликів. Серед них – технічні аспекти (характеристики апаратного та програмного забезпечення, рівень завадостійкості, інтеграція з існуючими системами), чутливість до атмосферних явищ і вимоги до стабільного енергопостачання, тактичні питання щодо оптимального позиціонування та ефективної координації з іншими оборонними засобами та організаційні заходи, а саме, підготовка кваліфікованого персоналу та уніфікація оперативних протоколів. Розв'язання цих питань вимагає ретельного всебічного аналізу для досягнення максимальної експлуатаційної ефективності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій присвячених оперативному застосуванню УБпЛА у сучасних збройних конфліктах, чітко засвідчує фундаментальну трансформацію характеру загроз для фундаментаційного управління. У працях як вітчизняних, так і зарубіжних вчених і практиків сформувалася стійка позиція, що масовість використання УБпЛА обумовлюють критичну вразливість пунктів управління, перетворюючи їх на

пріоритетні об'єкти ураження. У зв'язку з цим, акцентується увага на об'єктивній необхідності розбудови багаторівневої системи захисту пунктів управління. Ця система має інтегрувати превентивні заходи, що містять розвідку та своєчасне виявлення повітряних загроз, активну протидію із застосуванням спеціалізованих засобів боротьби з УБпЛА, а також комплекс пасивних заходів.

Особливий акцент у дослідженнях зроблено на адаптації організаційно-штатних структур і процедур командування до сучасних повітряних загроз противника шляхом застосування енергетичної зброї спрямованої дії. Це охоплює, зокрема, ротацію особового складу, децентралізацію управлінських функцій та раціональний розподіл ресурсів. Сукупність цих підходів допомагає мінімізувати негативні наслідки як поодиноких, так і масованих ударів УБпЛА, забезпечуючи безперервність управління військами [1].

Спеціалізовані аналітичні доповіді наголошують на необхідності інтеграції комплексів протидії безпілотним авіаційним системам С-UAS як ключового компонента оборонних систем, з особливим акцентом на багатошарове виявлення, класифікацію та нейтралізацію загроз [2]. Паралельно, численні аналітичні та регуляторні публікації останніх років свідчать про інтенсифікацію фінансування, розробки та випробувань систем зброї на спрямованій енергії DEW, зокрема високоенергетичних лазерів (HEL) для цільової ліквідації легких та низькошвидкісних безпілотних літальних апаратів (далі – БпЛА) на ближніх та середніх відстанях, а також потужних мікрохвильових випромінювачів (НРМ) для одночасного знешкодження групових атак шляхом порушення функціонування їхньої електроніки [3].

Як експериментальні дані, так і оперативні випробування підтверджують значний потенціал цих технологій, проте вони також розкривають певні лімітації, серед яких залежність від несприятливих метеорологічних умов, високі вимоги до енергоспоживання, виклики щодо операційної надійності та складність виявлення цілей у багатоконпонентних тактичних сценаріях [4]. Індустріальні демонстрації та аналітичні дослідження, що фокусуються на реальному бойовому застосуванні БпЛА (наприклад, у конфліктах, таких як війна в Україні), вказують на еволюцію цих систем від лабораторних прототипів до мобільних платформ, інтегрованих з бронетехнікою та спеціалізованими шасі. Це супроводжується підтвердженими випадками успішного перехоплення дронів у польових умовах, що акцентує на інтенсивності атак на критично важливі об'єкти та нагальну потребу у впровадженні комплексних технічних та організаційно-процедурних рішень для захисту [5; 6].

Оглядом публікацій також наголошують на низці тактико-технічних та логістичних викликів, що стосуються інтеграції DEW до загальної системи протиповітряної оборони. Ці виклики охоплюють потребу у стабільних джерелах живлення високої

потужності, ефективних системах охолодження, забезпеченні тривалої експлуатаційної стійкості, оптимізації тактик розгортання та координації з наявними ешелонами протиповітряної оборони та радіоелектронної боротьби. Крім того, економічна оцінка цих систем, хоча й вказує на потенційне зменшення витрат на перехоплення під час масованих атак, водночас вимагає значних початкових капіталовкладень, ретельного навчання оперативного персоналу та врахування існуючих інфраструктурних обмежень. [7; 8].

Разом із цим слід зазначити, що аналіз сучасних наукових досліджень та фахових публікацій беззаперечно свідчить про докорінну трансформацію характеру загроз для систем військового управління, що зумовлюється інтенсивним застосуванням УБпАК у сучасних збройних конфліктах. У працях вітчизняних і зарубіжних дослідників сформувалася консолідована позиція, що масованість використання УБпАК спричиняє критичну вразливість пунктів управління, перетворюючи їх на першочергові об'єкти для ураження. У цьому контексті виникає об'єктивна необхідність формування багаторівневої системи захисту, що інтегрує превентивні та активні засоби протидії (включно із застосуванням спеціалізованих комплексів боротьби з БпАК), а також пасивні заходи забезпечення живучості та адаптації організаційно-штатних структур.

Особливу перспективу у цій сфері демонструє зброя на спрямованій енергії. Прогрес у цій галузі очевидний: від лабораторних прототипів до мобільних платформ з підтвердженими випадками успішного перехоплення дронів у польових умовах. Вітчизняний досвід протидії агресії також акцентує увагу на значущості електромагнітної зброї, водночас виокремлюючи ключові аспекти, що потребують подальшого вирішення.

Метою статті є розроблення та обґрунтування науково-методичного підходу до оцінювання ефективності захисту пунктів управління армійського корпусу від ударних безпілотних літальних апаратів із застосуванням електромагнітної зброї спрямованої енергії для підвищення рівня живучості органів військового управління в умовах інтенсивних повітряних атак противника.

Виклад основного матеріалу дослідження

Еволюція повітряних ударних засобів у сучасних збройних конфліктах набула якісно нового характеру. Вона відзначена переходом від поодинокого та розрізненого застосування безпілотних авіаційних систем до їх інтегрованого використання у складі комплексних розвідувально-ударних засобів. Ударні БпЛА сьогодні гармонійно поєднуються в єдиному інформаційно-вогневому середовищі, де вони виконують низку критично важливих функцій: розвідка, цілевказування, безпосереднє ураження цілей та підтвердження результатів удару. Усі ці операції здійснюються фактично в реальному часі. Цей підхід надає потенційному противнику можливість

реалізувати ураження пунктів управління з мінімальним часовим інтервалом між ідентифікацією об'єкта та його знищенням.

З позицій системного аналізу, застосування УБпЛА генерує нелінійну загрозу для ПУ та центрів прийняття рішень. Це пов'язано з тим, що навіть знищення одного критично важливого компонента може призвести до зриву всього механізму управління. Така прогресуюча несправність системи інтерпретується як її перехід від стану стабільного функціонування до фази критичної нестабільності, під час якої втрачається безперервність контролю та порушується управління в цілому.

Для роботи органів управління, розміщення службових осіб і забезпечення їх службової діяльності розгортаються пункти управління. *Пункти управління* – спеціально обладнані й оснащені технічними засобами місця, з яких командири через свої штаби здійснюють управління військовими частинами (підрозділами) під час підготовки та в ході ведення бою (дій) [10]. На пунктах управління знаходяться визначений склад службових осіб, необхідні технічні засоби управління і пересування, а також підрозділи (засоби) зв'язку, охорони і обслуговування. ПУ мають бути мобільними і мати високу живучість. Їхня мобільність зумовлена високою динамічністю і безперервністю ведення бою (дій). Вона характеризується спроможністю здійснювати переміщення і здатністю здійснювати бойову роботу не лише на місці, а й під час руху. Ступінь мобільності ПУ залежить також від їхнього складу. Громіздкі – потребують багато часу на їх розгортання (згортання) та переміщення, що знижує їхню рухомість. І навпаки, менші за своїм складом – рухоміші й маневреніші. Кількісний склад елементів ПУ має розраховуватися за їх доцільністю. Живучість ПУ визначається здатністю забезпечити стійке й безперервне управління при значних втратах в особовому складі та засобах управління внаслідок впливу противника засобами вогневого ураження, а також у результаті застосування ним засобів РЕБ.

Вимога щодо захисту від впливу противника має особливо важливе значення і досягається: розосередженим розташуванням елементів ПУ під час розгортання для роботи на місцевості; ретельним інженерним обладнанням районів розташування ПУ, маскуванням від усіх видів розвідки; надійним захистом засобів зв'язку від засобів ураження і радіоелектронного подавлення; організацією охорони та оборони, надійним прикриттям від засобів повітряного нападу противника; своєчасним переміщенням ПУ в ході ведення бою (дій); створенням резерву сил та засобів зв'язку і правильним його використанням; завчасним плануванням заходів з відновлення ПУ, що вийшли з ладу.

Обов'язковою умовою, яка забезпечує стійке управління підрозділами, є обладнання ПУ сучасними технічними засобами, в першу чергу, засобами автоматизації процесу прийняття рішення, обробки і передачі інформації. Вони мають бути надійними, простими в експлуатації і обслуговуванні та

забезпечувати безперервне управління підлеглими в умовах обстановки, яка швидко змінюється, застосування противником засобів радіоелектронного подавлення, частих змін місць розташування ПУ, а також під час руху і за перебування на великій відстані один від одного [22].

У роботах [13; 14; 15] для оцінювання живучості ПУ під вогневим впливом противника в тому числі УБпЛА, використовується ймовірність збереження працездатного стану ПУ, що визначається за виразом:

$$P_{\text{пу}} = 1 - Q_{\text{пу}}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{пу}}$ – ймовірність виходу з ладу ПУ.

Отже, формується критерій, що визначає граничну кількість одночасно виведених з ладу елементів, за якої система управління зберігає спроможність до виконання завдань. Припустимо, що система пунктів управління складається з кількості n основних ПУ, функціонування яких забезпечує безперервне управління військами. Також для сталого функціонування системи ПУ передбачено деяка кількість запасних ПУ – m та резервних – r . Слід зазначити, що внаслідок впливу противника можуть бути виведені з ладу як основні ПУ, так і запасні, а також резервні, які спочатку операції (ведення бойових дій) не функціонують. Якщо основні ПУ вийшли з ладу, то вони замінюються негайно запасними ПУ, а останні – з резерву. Під живучістю системи ПУ слід розуміти властивість цієї системи зберігати або своєчасно відновлювати здатність забезпечувати управління військами з n ПУ в умовах впливу противника [14]. Водночас система ПУ втрачає цю здатність, коли виведено з ладу більше, ніж $m + r$ ПУ. Тоді живучість системи ПУ можна навести виразом [14]:

$$\alpha(t) = \sum_{k=0}^{m+r} Q_k(\mu_t), \quad (2)$$

де $Q_k(\mu_t)$ – ймовірність того, що у момент часу t противником буде виведено з ладу ПУ кількістю – k , $0 \leq k \leq n + m + r$;

μ_t – математичне очікування часу відновлення ПУ.

Вираз (2) визначає живучість системи пунктів управління як сумарну ймовірність того, що в умовах впливу противника кількість виведених з ладу ПУ не перевищить гранично допустимого рівня, який компенсується наявними запасними та резервними пунктами управління.

Досвід російсько-української війни 2022–2025 років свідчить про значне зростання вразливості органів військового управління (далі – ОВУ), зокрема, їх ПУ, завдяки застосуванню засобів повітряного нападу, особливо УБпЛА [2, 8, 9]. Навіть за умови комплексного застосування засобів РЕБ та ППО противник зберігає здатність наносити ефективні удари по ПУ, що суттєво знижує стійкість системи управління в цілому. Ця проблема є системною за своєю суттю, і зумовлена як технологічним розвитком засобів повітряного нападу, так і обмеженими можливостями традиційних засобів оборони у протидії масовим, адаптивним та економічно вигідним загрозам.

У сучасній війні противник активно застосовує УБпЛА, типу *Shahed-136/131*, *Герань-2*, *Молнія*, *Ланцет* та інші ударні платформи. Вони використовуються як для стратегічних, так і для оперативного-тактичних цілей. Згідно з відкритою інформацією, ці безпілотні літальні апарати (далі – БпЛА) набувають дедалі ширшого застосування для знищення командних пунктів, комунікаційних вузлів та штабів на різних оперативних рівнях [16, 17]. Особливостями таких БпЛА слід вважати:

1. Масоване застосування, зокрема для перевагання систем ППО.

2. Мінімальна радіолокаційна помітність та здатність діяти на дуже малих висотах.

3. Висока адаптивність до засобів РЕБ, досягнута завдяки використанню передових навігаційних та комунікаційних технологій.

У сукупності, зазначені чинники зумовлюють формування якісно нового рівня потенційних загроз для ОВУ, який не піддається повному нівелюванню за допомогою конвенційних засобів прикриття.

Незважаючи на провідне значення РЕБ у контексті сучасних військових конфліктів, емпіричний досвід бойових дій свідчить про її ефективність проти БпЛА зазначених категорій виявляється суттєво обмеженою. Фундаментальні причини такого стану речей полягають у передових технологічних рішеннях, реалізованих у бортових системах БпЛА. Зокрема, сучасні БпЛА використовують комунікаційні канали, які реалізують псевдовипадкову перебудову робочої частоти. Ця особливість значно знижує дієвість класичних засобів радіоелектронного подавлення (далі – РЕП) [18]. Для забезпечення ефективного впливу на зазначені канали зв'язку доцільним є застосування засобів електромагнітної зброї, що реалізують формування надпотужних електромагнітних імпульсів широкосмугового спектра та забезпечують деструктивний вплив на апаратно-програмні компоненти систем зв'язку УБпЛА.

УБпЛА типу *Shahed/Герань-2* обладнуються багатоканальними навігаційними приймачами супутникових систем, які інтегровані з антенними системами класу CRPA (Controlled Reception Pattern Antenna – антена з контрольованою діаграмою спрямованості). Зазначена система може динамічно змінювати діаграму спрямованості для відсічі радіоперешкоди і забезпечувати точне позиціонування УБпЛА, що особливо важливо для військових об'єктів, оскільки вона ігнорує помилкові сигнали [19]. Навіть за умови втрати доступу до супутникових навігаційних сигналів, переважна більшість ударних УБпЛА зберігає спроможність до продовження польоту. Це досягається завдяки використанню інерціальних або гібридних (комбінованих) навігаційних систем. Як підкреслюється в теоретичних дослідженнях УБпЛА, подібна автономність дає змогу виконувати завдання з ураження цілей із прийнятним рівнем відхилення від заданої траєкторії, навіть в умовах абсолютної радіоелектронної ізоляції [20].

Згідно з аналітичними висновками експертних центрів, під час масованих атак УБпЛА типу Shahed виявляються елементи скоординованого групового застосування та диференційованого розподілу функціональних ролей між окремими апаратами, що корелює з концепцією меш-мереж (mesh-networks) [21]. Такий підхід забезпечує компенсацію втрат окремих одиниць БпЛА та знижує загальну ефективність локалізованого РЕБ.

Паралельно з обмеженнями РЕБ, суттєві проблеми спостерігаються і в системах ППО. Масоване застосування дешевих БпЛА створює ситуацію, за якої використання дорогих зенітних керованих ракет є економічно невиправданим і не дає змоги забезпечити гарантоване прикриття ОБУ [17]. Крім того, перевантаження каналів виявлення та цілевказання, дефіцит боекомплекту і необхідність пріоритетного прикриття критичної інфраструктури призводять до того, що ПУ залишаються у зоні підвищеного ризику ураження.

Паралельно з обмеженнями у сфері РЕБ, помітні труднощі виникають і для систем ППО. Масоване застосування недорогих УБпЛА створює стратегічну дилему, за якої використання вартісних зенітних керованих ракет стає економічно невиправданим. Це, у свою чергу, унеможливує забезпечення надійного захисту ПУ [17]. Крім того, надмірне навантаження на канали виявлення та цілевказання, відчутна нестача боекомплекту, а також першочергова потреба у прикритті ПУ армійського корпусу, призводять до

того, що ПУ залишаються у зоні підвищеного ризику ураження.

Аналіз досвіду застосування зброї спрямованої дії в сучасних війнах, свідчить про те, що функціональний збій апарату БпЛА (Soft Kill – м'яке ураження) може відігравати важливу роль у нейтралізації загроз від БпЛА без повного фізичного руйнування цілі (Hard Kill – жорстке ураження). Soft Kill фокусується на створенні функціональних збоїв електроніки, сенсорів, засобів комунікації або систем керування, що призводить до втрати боєздатності БпЛА та проявляється у дезорієнтації у просторі, порушення передачі інформації та зв'язку з оператором або втраті можливості точного наведення на ціль.

Тому використання Soft Kill, що характеризуються застосуванням електромагнітної зброї (далі – ЕМЗ) спрямованої дії, набуває вирішального значення для захисту ПУ армійських корпусів від УБпЛА. Це особливо ефективно проти роїв БпЛА, де спрямована енергія ЕМЗ розподіляється для масового впливу, мінімізуючи витрати ресурсів. На основі всебічного аналізу представлених джерел [1; 3; 4; 7; 22], доцільно констатувати, що поточна класифікація ЕМЗ ґрунтується на основоположних фізичних принципах передачі електромагнітної енергії та визначається характеристиками випромінювання. Ґрунтовне дослідження технічних специфікацій систем [22] дає змогу систематизувати ЕМЗ за категоріями, що визначають тактику їхнього застосування проти УБпЛА противника (табл. 1).

Таблиця 1

Загальна класифікація систем електромагнітної зброї

Категорія електромагнітної зброї	Підкатегорія	Приклади
Зброя спрямованої енергії (Directed-Energy Weapons, DEW)	Лазерна зброя (Laser weapons)	Хімічні лазери, напівпровідникові лазери, твердотільні лазери, волоконні лазери, лазери на вільних електронах;
	Високоенергетичні лазери (High-Energy Lasers, HEL)	Твердотільні лазери (волоконні, плиткові), гібридні лазери; приклади: Airborne Laser, Navy LaWS.
	Зброя пучків частинок (Particle-beam weapons)	Заряджені пучки частинок.
	Високотужні мікрохвильові (High-Power Microwave, HPM) або радіочастотні (RF) зброї	Вузькосмугові системи (подібні до потужних радарів), широкосмугові системи (короткі імпульси).
Електромагнітні пускові установки (Electromagnetic Launchers, EM Launchers)	Рейкові гармати (Rail guns)	Одноступеневі та багатоступеневі системи.
	Котушкові гармати (Coil guns)	Системи на основі послідовних електромагнітів.
	Індукційні драйвери (Induction drivers)	Пристрої безконтактного розгону.

Для виведення з ладу радіоапаратури БпЛА потрібно створити електромагнітне випромінювання, що характеризується щільністю потоку потужності

$S(R)$ (Вт/м²) та формалізується модифікованим рівнянням радіопередачі Х. Фріса з урахуванням

діаграми спрямованості антенної системи та втрат в атмосфері [3];

$$S(R) = \frac{P_{peak} \cdot G_{Tx} \cdot n_{feed}}{4\pi R^2} \cdot e^{-\alpha R}, \quad (3)$$

де P_{peak} – пікова вихідна потужність передавача засобу ЕМЗ [Вт];

G_{Tx} – коефіцієнт підсилення антени в напрямку цілі;

n_{feed} – коефіцієнт корисної дії антенно-фідерного тракту;

$$E_{inc}(R) = \sqrt{S(R) \cdot Z_0} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{P_{peak} \cdot G_{Tx} \cdot Z_0 n_{feed}}{4\pi}} \cdot e^{-\frac{\alpha R}{2}}, \quad (4)$$

де Z_0 – хвильовий опір (імпеданс) вільного простору ($Z_0 \approx 377$ Ом);

η_{feed} – коефіцієнт корисної дії антено-фідерного тракту;

4π – геометричний множник сфери;

$e^{-\frac{\alpha R}{2}}$ – фактор атмосферного загасання.

Потужність випромінювання P_{rx} , що впливає на елементи радіоапаратури, визначається за виразом [7]:

$$P_{rx}(R) = S(R) \cdot \sigma_{cpl}(f, \theta, \varphi), \quad (5)$$

де σ_{cpl} – еквівалентна ефективна площа електромагнітного збудження внутрішніх кіл, яка залежить від випромінюваного сигналу f та кутів опромінення (θ, φ).

Ураховуючи складну геометрію внутрішнього простору БпЛА та випадковий кут падіння електромагнітної хвилі, параметр σ_{cpl} може розглядатися як випадкова величина, що характеризується, як правило, розподіленням (χ^2) з двома ступенями вільності або логнормальному розподіленню для високочастотних сигналів [16].

Умовою функціонального ураження «Hard Kill» є перевищення потужності ЕМП, що наводиться елементом радіоапаратури (мікросхемою), порогу теплового пробою p–n-переходу. Для опису цього процесу застосовується напівемпірична модель Вунша-Белла, що пов'язує порогову потужність відмови P_{fail} із тривалістю імпульсу дії τ :

$$P_{fail}(\tau) = K/\sqrt{\tau}, \quad (6)$$

де K – константа пошкодження, що залежить від теплофізичних властивостей напівпровідника (кремній, арсенід галію), площі переходу та температури плавлення.

Синтез наведених вище моделей дозволяє сформулювати аналітичний критерій ефективності системи захисту. Гарантоване ураження цілі досягається при виконанні нерівності:

$$P_{rx}(R) \geq P_{fail}(\tau). \quad (7)$$

Підставивши вирази (1) та (4) у вираз (7), отримаємо умову енергетичної достатності комплексу високопотужної мікрохвильової (High-Power Microwave (HPM)) зброї:

α – коефіцієнт загасання електромагнітної хвилі в атмосфері [Нп/м], що залежить від частоти та метеоумов;

R – похила дальність до цілі [м].

Напруженість електромагнітного поля (далі – ЕМП) E_{inc} (В/м) у точці перебування БпЛА на дальності R , пов'язана зі щільністю потоку через імпеданс вільного простору [5]:

$$\frac{P_{peak} \cdot G_{Tx} \cdot n_{feed}}{4\pi R^2} e^{-\frac{\alpha R}{2}} \geq \frac{K}{\sqrt{\tau}}, \quad (8)$$

Розв'язуючи вираз (8) відносно R , можна отримати вираз для граничного радіусу ефективного ураження R_{eff} :

$$R_{eff} = \sqrt{\frac{P_{peak} \cdot G_{Tx} \cdot \sigma_{cpl} \sqrt{\tau}}{4\pi \cdot K \cdot e^{\alpha R}}}, \quad (9)$$

Оскільки R входить у показник експоненти, точне аналітичне рішення визначається через W-функцію Ламберта, а для оперативних розрахунків на тактичних дистанціях (до 5 км), де $\alpha R \ll 1$, доцільно знехтувати атмосферним загасанням. Ураховуючи зазначене вираз для визначення ефективного дальності захисту ПУ має вигляд:

$$R_{eff} \approx \sqrt{\frac{P_{peak} \cdot G_{Tx} \cdot \sigma_{cpl}}{4\pi \cdot P_{th}}}, \quad (10)$$

де P_{th} – порогова потужність вразливості конкретного типу БпЛА.

Разом із тим, для забезпечення захисту ПУ потрібно виконати умови просторового розмежування та потенційних джерел ураження:

$$R_{eff} \geq R_{det} + v_{target} \cdot (t_{sys} + \tau), \quad (11)$$

де R_{det} – дальність виявлення цілі;

v_{target} – радіальна швидкість засобу нападу;

t_{sys} – час реакції комплексу захисту.

Важливим аспектом оцінювання ефективності захисту ПУ є просторово-часовий критерій, який враховує кінематичні показники (дальність до цілі, швидкісні характеристики УБпЛА та час реакції системи). Цей підхід доповнює енергетичний критерій часовим обмеженням і визначає умову реалізованості захисту ПУ в реальній обстановці.

Наведений графік ілюструє криві ефективності захисту пунктів управління. За горизонтальною віссю відкладено дистанцію до цілі, яка охоплює типовий тактичний діапазон застосування направленої ЕМЗ. Вертикальна вісь відображає ймовірність ураження. Графік, що демонструє ймовірність ураження УБпЛА завдяки впливу ЕМЗ спрямованої дії для режимів впливу Soft Kill та Hard Kill на відстанях 0–5 км для порогового значення P_{th} , (90%) [7].

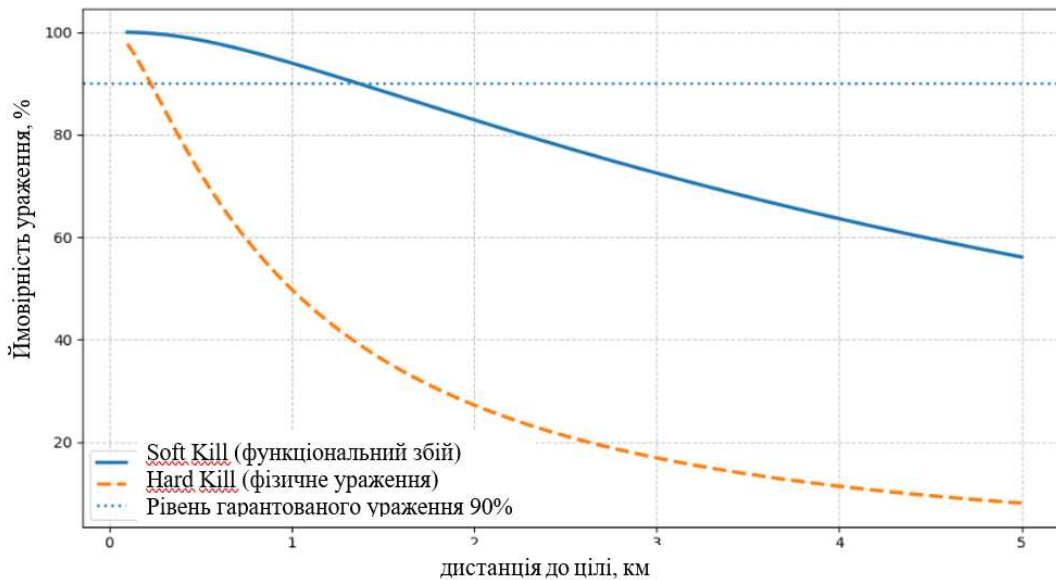


Рисунок – 1 Графік ефективності захисту пунктів управління від ударних безпілотних літальних апаратів

Синя (безперервна) крива показує характеристики режиму Soft Kill, що характеризується поступовим зниженням ймовірності ефективного впливу зі зростанням відстані до цілі. Це обумовлено нижчим пороговим значенням вразливості P_{th} , що є достатнім для функціонального виведення з ладу елементів радіоапаратури.

Помаранчева (штрих-пунктирна) крива на рис. 1 характеризує режим Hard Kill, що відрізняється значно стрімкішим зменшенням ймовірності. Це зумовлюється підвищеним пороговим значенням P_{th} , яке вимагається для фізичного руйнування компонентів, зокрема, теплового пробою $p-n$ переходів у напівпровідниках, згідно з моделлю Вунша–Белла Швидкість спадання кривої істотно прискорюється завдяки комбінованого ефекту обернено-квадратичної залежності від відстані ($1/R^2$) та експоненційного загасання $e^{-\alpha R}$.

Подібна особливість детермінована необхідністю застосування надзвичайно інтенсивного електромагнітного впливу для незворотного пошкодження, такого як плавлення мікросхем або ініціація детонації боєприпасів в УБПЛА.

Аналіз графічних залежностей свідчить про відсутність перетину кривих ефективності Soft Kill та Hard Kill у досліджуваному діапазоні дистанцій. Ймовірність функціонального ураження (Soft Kill) у всьому інтервалі 0,2–5 км перевищує показники фізичного ураження (Hard Kill), що зумовлено більш повільним спаданням її ефективності зі збільшенням дальності.

Режим Hard Kill демонструє високі показники результативності лише на малих дистанціях, де ймовірність ураження наближається до гарантованого рівня ($\approx 90-100\%$), однак уже після 1–1,5 км спостерігається різке зниження його ефективності. Натомість Soft Kill зберігає відносно стабільний рівень впливу на середніх та великих дистанціях.

Отже, доцільно застосовувати Hard Kill як засіб ближнього рубежу перехоплення для критичних та високопріоритетних загроз, тоді як Soft Kill забезпечує розширену зону протидії на середніх дистанціях та є більш раціональним інструментом протидії масованим атакам або ройовому застосуванню БпЛА.

Наведений науково-методичний підхід цілком узгоджується з сучасними доктринами радіоелектронної боротьби [11] та передбачає імплементацію стохастичного моделювання (зокрема, метод Монте-Карло для симуляції варіацій параметра σ_{cpl}) [13], що дає змогу з високою достовірністю (понад 90%) прогнозувати стійкість захисту критично важливих об'єктів, зокрема ПУ, у сценаріях з багатокомпонентними та гетерогенними загрозами. В цілому, стохастична інтерпретація значно підвищує прогностичну реалістичність і забезпечує можливість інтеграції емпіричних даних, отриманих під час випробувань високоефективних мікрохвильових систем для оптимальної адаптації до унікальних операційних умов конфлікту.

Висновки

У статті обґрунтовується методологічний підхід для оцінювання ефективності оборонних заходів, спрямованих на захист пунктів управління армійських корпусів від ударних безпілотних літальних апаратів завдяки застосуванню електромагнітної зброї спрямованої енергії, оскільки вразливість вузлів безпосередньо визначає оперативну стійкість та функціональну надійність усього військового формування. Запропоноване ґрунтується на цілісному, системному аналізі цих пунктів, які визначаються як основні компоненти у більш широкій архітектурі бойового командування та управління.

На противагу традиційним підходам, які зосереджуються переважно на тактико-технічних характеристиках окремих засобів протидії, запропонований науково-методичний підхід інтегрує організаційні, оперативні, енергетичні чинники у

цілісний логічний процес оцінювання. Пріоритетну увагу надано гармонізації параметрів застосування електромагнітної зброї з умовами оперативної обстановки, специфікою повітряної загрози та вимогами щодо забезпечення безперервності військового управління.

Обґрунтовано доцільність інтеграції засобів спрямованої енергії як елемента ешелонованої системи захисту пунктів управління, що спроможна забезпечити оперативне функціональне подавлення або фізичну нейтралізацію ударних безпілотних літальних апаратів на ближніх і середніх дистанціях. Ідентифіковано основні фактори, які зумовлюють ефективність такого захисту: своєчасність виявлення повітряної цілі, когерентність функціонування розвідувальних та вогневих підсистем, енергетичний потенціал засобу ураження, а також стійкість власної інфраструктури до побічних наслідків електромагнітного впливу.

Очікується, що практична реалізація запропонованого підходу значно підвищить стійкість пунктів управління, тим самим зменшивши ризик дезорганізації управління, забезпечивши стабільність виконання операцій у складних умовах багатодоменного конфлікту.

Список бібліографічних посилань

1. Watling J., Bronk J. Protecting the Force from Uncrewed Aerial Systems. London : Royal United Services Institute, 2024. 52 p. URL: <https://static.rusi.org/protecting-the-force-from-uncrewed-uas.pdf> (Accessed: 26 December 2025).
 2. Завацький О., Талкін Ю., Мельниченко А. Активні способи боротьби із безпілотними літальними апаратами у сучасних умовах ведення бойових дій. *Military Science*. 2024. Т. 2. № 4. С. 203–212. DOI: <https://doi.org/10.62524/msj.2024.2.4.17>.
 3. DiMascio J., Feickert A., O'Rourke R., Saylor K. M. Department of Defense Directed Energy Weapons: Background and Issues for Congress. Washington : Congressional Research Service, 2024. 78 p. URL: <https://www.congress.gov/crs-product/R46925> (Accessed: 05 January 2026).
 4. Saylor K. M. Defense Primer: Directed-Energy Weapons. Washington : Congressional Research Service, 2025 3 p. URL: <https://www.congress.gov/crs-product/IF11882> (Accessed: 06 January 2026).
 5. Alaniz A. Directed Energy in Air Base Defense Can Save the Arsenal. *National Defense Magazine*. 2025. 11 Aug. P. 18–22. URL: <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2025/8/11/government-perspective-directed-energy-in-air-base-defense-can-save-the-arsenal> (Accessed: 14 January 2026).
 6. Carberry S. JUST IN: Pentagon's Counter-Drone Office Tackles Electromagnetic Interference in Demo. *National Defense Magazine*. 2025. 4 June. P. 6–9. URL: <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2025/6/4/article-just-in-pentagons-counterdrone-office-holds-sixth-industry-demo> (Accessed: 16 February 2026).
 7. Dee S., Fedina K., Suman-Chauhan K., Graham E., Hill D., Gibson A. Opportunities and Challenges for Integrating DEWs into Ukraine's C-UAS Framework. Santa Monica : RAND Corporation, 2025. 94 p. URL: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RA3800/RRA3833-7/RAND_RRA3833-7.pdf (Accessed: 17 February 2026).
 8. Ковтуненко О. П., Богучарський В. В., Слюсар В. І., Федотов П. М. Зброя на нетрадиційних принципах дії (стан, тенденції, принципи та захист від неї): монографія. Київ : ПБІЗ, 2006. 156 с.

Перспективи і напрями подальших наукових досліджень узгоджені з удосконаленням цього підходу, зокрема через безперервну інтеграцію систем спрямованої енергії в загальну архітектуру протиповітряної оборони та радіоелектронної боротьби угруповань військ. У межах такого розвитку доцільно використовувати моделі адаптивного моделювання загроз, які імітують поведінку роїв безпілотних літальних апаратів з урахуванням змінних факторів середовища, а також методи інтеграції штучного інтелекту для прогнозування траєкторій ударних безпілотних літальних апаратів з метою підвищення точності оцінки ризиків та мінімізації їхнього враження пунктів управління.

Конфлікт інтересів. Автори повідомляють про відсутність конфліктів інтересів, що впливають на результати дослідження.

Фінансування. Дослідження виконано без залучення фінансової підтримки.

Доступність даних. Дослідження виконано з використанням виключно відкритих даних, доступних у публічних джерелах.

Використання засобів штучного інтелекту. Під час підготовки статті засоби штучного інтелекту не застосовувалися.

9. Іванченко О. В., Курдюк С. В., Хатунцев Ю. Ю., Рудніченко С. В. Аналіз можливостей застосування та класифікація безпілотних літальних апаратів для забезпечення бойових дій ВМС ЗС України. *Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОВТ*. 2023. Вип. 4 (18). С. 35–44. DOI: <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.18.2023.04>.
 10. Афтаназів І. С., Стоцько Р. З., Шевчук Л. І., Струтинська Л. Р., Строган О. І., Бойко О. О. Захист населених пунктів від ударних та диверсійно-розвідувальних БпЛА. *Системи озброєння і військова техніка*. 2023. № 1(73). С. 82–90. DOI: <https://doi.org/10.30748/soivt.2023.73.10>.
 11. Методичні рекомендації «Боротьба з безпілотними літальними апаратами» (за досвідом проведення ООС (раніше АТО)). ВП 7-00(03).01. *Центр оперативних стандартів і методики підготовки Збройних Сил України спільно з головним управлінням підготовки Збройних Сил України*, 2019. 44 с.
 12. Шуєнкін В. О. До питання оцінювання ефективності системи управління військами (силами). *Наука і оборона*. 2010. № 4. С. 23–28.
 13. Кальницький П. П., Бабич О. О., Деметіюк Г. М. Аналіз методів та засобів захисту радіоелектронної апаратури зенітного озброєння від потужного електромагнітного випромінювання. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2023. № 1(75). С. 50–59. DOI: <https://doi.org/10.30748/zhups.2023.75.08>.
 14. Войцеховський Р. Система показників і критеріїв обґрунтування вимог до стійкості системи управління оперативного угруповання військ. *Military Science*. 2024. № 3. С. 218–234. DOI: <https://doi.org/10.62524/msj.2024.2.3.18>.
 15. Kallenborn Z. Drone Warfare in Ukraine. Washington : CSIS, 2023. 112 p. DOI: <https://doi.org/10.55540/0031-1723.3154>.
 16. Kaplan E., Hegarty C. Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications. 3rd ed. Boston : Artech House, 2017. 723 p.
 17. Austin R. Unmanned Aircraft Systems: UAVs Design, Development and Deployment. Chichester : Wiley, 2018. 380 p. URL: <https://gnindia.dronacharya.info/me/common-subjects->

[8th-sem/downloads/fundamentals-of-drone-technology/books/fundamentals-of-drone-technology-text-book-1.pdf](#) (Accessed: 14 January 2026). **18. Świętochowski N.** The History and Use of Electromagnetic Weapons. *Historia i Polityka*. 2018. № 26 (33). P. 123–136. DOI: <https://doi.org/10.12775/HiP.2018.036>. **19. Baker G.** High Power Electromagnetic Weapons: *A Brief Tutorial*. *Harrisonburg*: James Madison University, 2011. 5 p. URL: <https://commons.lib.jmu.edu/selectedworks/61> (Accessed: 27 February 2026). **20. Kopp C.** The Electromagnetic Bomb – a Weapon of Electrical Mass Destruction: *Airpower Journal*, 1996. P. 1–26. URL:

<https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ/journals/Chronicles/apiemp.pdf> (Accessed: 27 February 2026). **21. Marshall R. A.** The Basics of Electric Weapons and Pulsed-Power Technologies. *Defense Technical Information Center*. 2012. ADA557759. P. 1–28. URL: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA557759.pdf> (Accessed: 01 March 2026). **22. Brian B.** U.S. Government Accountability Office. *Science & Tech Spotlight: Directed Energy Weapons*. GAO-23-106717. Washington: GAO, 2023. 2 p. URL: <https://www.gao.gov/products/gao-23-106717> (Accessed: 11 February 2026).

SCIENTIFIC -METHODOLOGICAL APPROACH TO EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF PROTECTING ARMY CORPS COMMAND POSTS AGAINST STRIKE BY UNMANNED AERIAL VEHICLES AND USING ELECTROMAGNETIC WEAPONS

SALIY Oleksandr, Candidate of Military Sciences, National University of Defence of Ukraine, Kyiv, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-6876-2170>

TYSCHUK Serhiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National University of Defence of Ukraine, Kyiv, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-9661-5493>

KORBA Vitaliy, National University of Defence of Ukraine, Kyiv, Ukraine, <https://orcid.org/0009-0000-2911-4421>

Formulation of the problem in general. In modern warfare, the role of strike unmanned aerial vehicles is rapidly growing. They are actively used to destroy critical military infrastructure, particularly operational and tactical command posts. At the same time, existing countermeasures, including air defence systems, electronic warfare, engineering fortification of facilities, and optimisation of their location, do not always achieve the necessary level of effectiveness in conditions of the mass use of UAVs. Promising directed energy weapon technologies are considered a potentially effective means of combating such threats, but their integration into existing command post protection systems requires additional scientific justification and the resolution of several technical, tactical, and organisational issues. **Purpose of the article.** Development and justification of a scientific and methodological approach to assessing the effectiveness of protecting army corps command posts from strike by unmanned aerial vehicles using directed-energy electromagnetic weapons to increase the survivability of military command bodies under conditions of intense enemy air attacks.

Research methods. In writing this article, methods of system analysis, probability theory, mathematical statistics, and electromagnetic wave propagation theory were used. The proposed scientific and methodological approach enables the development of an effective concept for assessing the viability of command and control facilities in the context of the widespread use of attack unmanned aerial vehicles.

Literature review. The application of modern threats from enemy-strike unmanned aerial vehicles against army corps command posts and the concept of future use of multi-level countermeasure systems (air defence, electronic warfare) were analysed, in particular, the prospects for the use of directed energy weapons. However, most studies focus on general or purely technical aspects of defence. The issue of comprehensively assessing the effectiveness of protecting army corps command posts against unmanned aerial vehicles using electromagnetic weapons remains insufficiently explored, making further research in this area relevant.

Research results. A scientific and methodological approach has been developed to assess the effectiveness of protecting army corps command posts from strikes by unmanned aerial vehicles using directed-energy electromagnetic weapons. The article discusses the theoretical foundations and practical results of using strike unmanned aerial vehicles to destroy army corps command posts. The evolution of unmanned technologies from primitive reconnaissance means to high-power offensive platforms capable of performing both kinetic operations and functional disruptions is analysed.

Research novelty. For the first time, the concept of transitioning from reactive to preventive strategies for protecting command posts by creating targeted energy impact zones has been substantiated. The modelling of scenarios for disrupting UAV swarms by remotely influencing their hardware and software interfaces has been further developed.

Theoretical and practical significance. The developed scientific and methodological approach makes it possible to substantiate the rational parameters for the system for covering army corps command posts with electromagnetic weapons in conditions of the enemy's massive use of strike unmanned aerial vehicles, which is the only way to ensure the survivability of military command and control bodies.

Conclusions and future work. The proposed scientific and methodological approach to assessing the effectiveness of protecting army corps command posts from drone attacks using electromagnetic weapons is based on a comprehensive, systematic analysis of these posts. Unlike traditional approaches, the proposed scientific and methodological approach integrates organisational, operational, and energy factors into a comprehensive logical assessment process. The practical implementation of the proposed approach is expected to significantly increase the resilience of command posts, ensuring the stability of operations in the complex conditions of a multi-domain conflict.

Keywords: *army corps, command post, strike unmanned aerial vehicle, electromagnetic weapon, electronic warfare, electromagnetic spectrum, survivability, air defence.*

References

- 1. Watling, J., Bronk, J.,** (2024). Protecting the Force from Uncrewed Aerial Systems. London: Royal United Services Institute, 52, [online]. Available at: <https://static.rusi.org/protecting-the-force-from-uncrewed-uas.pdf> [Accessed: 26 December 2025].
- 2. Zavatskyi, O., Talkin, Yu. and Melnychenko, A.,** (2024). Active methods of countering unmanned aerial vehicles in modern combat conditions. *Military Science*, 2(4), 203–212. DOI: <https://doi.org/10.62524/msj.2024.2.4.17>.
- 3. DiMascio, J., Faikert, A., O'Rourke, R., Sayler, K. M.,** (2024). Directed Energy Weapons: Background and Issues for Congress. Washington: Congressional Research Service, 78, [online]. Available at: <https://www.congress.gov/crs-product/R46925> [Accessed: 5 January 2026].
- 4. Sayler, K. M.,** (2024). Fundamentals of Defense: Directed Energy Weapons. Washington: Congressional Research Service, 3, [online]. Available at: <https://www.congress.gov/crs-product/IF11882> [Accessed: 6 January 2026].
- 5. Alaniz, A.,** (2025). Directed Energy in Air Base Defense Could Save the Arsenal. *National Defense Magazine*. 11 August, 18–22, [online]. Available at: <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2025/8/11/government-perspective-directed-energy-in-air-base-defense-can-save-the-arsenal> [Accessed: 14 January 2026].
- 6. Carberry, S.,** (2025). JUST IN: Pentagon's Counter-Drone Office Tackles Electromagnetic Interference in Demo. *National Defense Magazine*. 4 June, 6–9, [online]. Available at: <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2025/6/4/article-just-in-pentagons-counterdrone-office-holds-sixth-industry-demo> [Accessed: 16 February 2026].
- 7. Dee, S., Fedina, K., Suman-Chauhan, K., Graham, E., Hill, D., Gibson, A.,** (2025). Opportunities and Challenges for Integrating DEWs into Ukraine's C-UAS Framework. Santa Monica: RAND Corporation, 94, [online]. Available at: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR3800/RR3833-7/RAND_RRA3833-7.pdf [Accessed: 17 February 2026].
- 8. Kovtunenکو, O. P., Bogucharsky, V. V., Slyusar, V. I., Fedotov, P. M.,** (2006). Weapons Based on Non-Traditional Principles of Operation (Status, Trends, Principles, and Protection Against Them). Kyiv: PVIZ, 156.
- 9. Ivanchenko, O. V., Kurdyuk, S. V., Khatuntsev, Yu. Yu., Rudnichenko, S. V.,** (2023). Analysis of the Possibilities of Application and Classification of Unmanned Aerial Vehicles for Ensuring Combat Operations of the Navy of the Armed Forces of Ukraine. *Collection of Scientific Works of the DNDII VS OVT*, 4(18), 35–44. DOI: <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.18.2023.04>.
- 10. Aftanaziv, I. S., Stotsko, R. Z., Shevchuk, L. I., Strutynska, L. R., Strogan, O. I., Boiko, O. O.,** (2023). Protection of Populated Areas from Strike and Reconnaissance UAVs. *Weapon Systems and Military Equipment*, 3(73), 82–90. DOI: <https://doi.org/10.30748/soivt.2023.73.10>.
- 11. Ministry of Defence of Ukraine,** (2019) *Methodical recommendations «Countering unmanned aerial vehicles (based on the experience of the Joint Forces Operation (formerly ATO))»*. VP 7-00(03).01. Kyiv: Centre for Operational Standards and Training Methodology of the Armed Forces of Ukraine in cooperation with the Main Directorate of Training of the Armed Forces of Ukraine, 44.
- 12. Shuenkin, V. O.,** (2010). On the Issue of Assessing the Effectiveness of the Troop (Force) Command and Control System. *Science and Defense*, 4, 23–28.
- 13. Kalnytskyi, P. P., Babych, O. O., Dementiuk, H. M.,** (2023). Analysis of methods and means of protection of radio-electronic equipment of anti-aircraft weapons against high-power electromagnetic radiation. *Collection of Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, 1(75), 50–59. DOI: <https://doi.org/10.30748/zhups.2023.75.08>.
- 14. Voytsekhovskiy, R.,** (2024). System of Indicators and Criteria for Substantiating Requirements for the Stability of the Command and Control System of an Operational Group of Troops. *Military Science*, 3, 218–34. DOI: <https://doi.org/10.62524/msj.2024.2.3.18>.
- 15. Kallenborn, Z.,** (2023). Drone Warfare in Ukraine. Washington: CSIS, 112. DOI: <https://doi.org/10.55540/0031-1723.3154>.
- 16. Kaplan, E., Hegarty, C.,** (2017). Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications. 3rd ed. Boston: Artech House, 723.
- 17. Austin, R.,** (2018). Unmanned Aircraft Systems: UAVs Design, Development and Deployment. Chichester: Wiley, 380. [online]. Available at: <https://gnindia.dronacharya.info/me/common-subjects-8th-sem/downloads/fundamentals-of-drone-technology/books/fundamentals-of-drone-technology-text-book-1.pdf> [Accessed: 14 January 2026].
- 18. Świętochowski, N.,** (2018). The History and Use of Electromagnetic Weapons. *Historia i Polityka*, 26(33), 123–136. DOI: <https://doi.org/10.12775/HiP.2018.036>.
- 19. Baker, G.,** (2011). High Power Electromagnetic Weapons: A Brief Tutorial. Harrisonburg: James Madison University, 5, [online]. Available at: <https://commons.lib.jmu.edu/selectedworks/61> [Accessed: 27 February 2026].
- 20. Kopp, C.,** (1996). The Electromagnetic Bomb – A Weapon of Electrical Mass Destruction. *Airpower Journal*, 10 (3), 1–26, [online]. Available at: <https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ/journals/Chronicles/apjemp.pdf> [Accessed: 27 February 2026].
- 21. Marshall, R. A.,** (2012). The Basics of Electric Weapons and Pulsed-Power Technologies. *Defense Technical Information Center*. ADA557759, 1–28, [online]. Available at: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA557759.pdf> [Accessed: 1 March 2026].
- 22. Brian, B.,** (2023). Science & Tech Spotlight: Directed Energy Weapons. Washington: U.S. Government Accountability Office (GAO-23-106717), 2, [online]. Available at: <https://www.gao.gov/products/gao-23-106717> [Accessed: 11 February 2026].

Рукопис надійшов до редакції 10.03.2026
 Рукопис прийнято до друку після рецензування 30.03.2026
 Дата публікації 30.04.2026