

# Аналіз способів та засобів протидії безпілотним літальним апаратам та напрямки їх вдосконалення

## Analysis of ways and means of counteracting unmanned aerial vehicles and areas for their improvement

**Володимир Кривцун<sup>A</sup>**

**Corresponding author:** к. тех. н., с. н. с., докторант штатний, e-mail: vik-08-74@i.ua, ORCID: 0000-0002-3907-5320

**Сергій Голушко<sup>A</sup>**

ад'юнкт, e-mail: golyshko17@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5678-3305

**Volodymyr Krivtsun<sup>A</sup>**

**Corresponding author:** PhD of Technical Sciences, Senior Researcher, Full-time Doctoral Student, e-mail: vik-08-74@i.ua, ORCID: 0000-0002-3907-5320

**Sergiy Holushko<sup>A</sup>**

PhD student, e-mail: golyshko17@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5678-3305

<sup>A</sup> Національна академія сухопутних військ імені Гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, Україна

<sup>A</sup> Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine

**Received:** July 16, 2024 | **Revised:** August 09, 2024 | **Accepted:** August 31, 2024

**DOI:** 10.33445/sds.2024.14.4.17

**Мета роботи:** обґрунтування доцільності застосування інженерних осколкових вибухових пристроїв направленої дії для ураження малошвидкісних, низьколітаючих безпілотних літальних апаратів на основі аналізу існуючих способів та засобів протидії безпілотним літальним апаратам.

**Метод:** аналіз.

**Результати дослідження:** проведений аналіз засобів протидії безпілотним літальним апаратам, які використовуються у збройних конфліктах сучасності, наведені характеристики перспективних зразків систем боротьби з літальними безпілотними апаратами, наведено напрямки досліджень для створення системи захисту військ та об'єктів від ураження низьколітаючих цілей із застосування інженерних боєприпасів.

**Теоретична цінність дослідження:** на основі результатів проведеного дослідження сформовано перелік завдань щодо структури системи виявлення та ураження низьколітаючих цілей типу безпілотні літальні апарати з використанням інженерних осколкових боєприпасів.

**Тип статті:** науково-теоретична.

**Purpose:** substantiation of the expediency of using engineered fragmentation explosive devices of directed action to defeat low-speed, low-flying unmanned aerial vehicles based on the analysis of existing methods and means of countering unmanned aerial vehicles.

**Method:** analysis.

**Findings:** The article analyses the means of counteracting unmanned aerial vehicles used in armed conflicts today, provides characteristics of promising models of systems for combating unmanned aerial vehicles, and outlines research areas for creating a system for protecting troops and facilities from low-flying targets using engineered munitions.

**Theoretical implications:** based on the results of the study, a list of tasks was formed for the structure of the system for detecting and defeating low-flying targets such as unmanned aerial vehicles using engineered fragmentation munitions.

**Papertype:** scientific and theoretical article.

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, зенітно-ракетний комплекс, інженерний боєприпас, низьколітаюча ціль, осколкові боєприпаси, осколкові вибухові пристрої направленої дії, повітряна ціль.

**Key words:** unmanned aerial vehicle, anti-aircraft missile system, engineered munition, low-flying target, fragmentation munitions, high-explosive fragmentation devices, air target.

### Вступ

Одним із засобів новітнього озброєння, які використовуються у конфліктах сучасності, стали безпілотні літальні апарати різних типів ("бомбери", "камікадзе", FPV, ударні), які довели свою здатність значно ефективніше, ніж інші засоби ураження, виконувати бойові завдання.

За досвідом останніх збройних конфліктів спостерігається тенденція підвищення можливостей БПЛА щодо ураження військ та об'єктів [1].

При масовому застосування БПЛА здійснюється перенавантаження системи протиповітряної оборони, що не дає можливості знищити всі повітряні цілі противника зенітно-ракетним комплексам (ЗРК), та призводить до знищення ОБТ, масових руйнувань об'єктів, загибелі військовослужбовців і цивільного населення [1]. За досвідом війни рф проти

України ударні БПЛА та дрони-камікадзе стали використовуватися як заміна снарядів до артилерійських засобів ураження. Необхідно зауважити, що витратити зенітні снаряди або коштовні ракети на дешеві БПЛА недоцільно. Крім того ураження міні та мікро БПЛА засобами протиповітряної оборони має низьку ефективність у зв'язку з тим, що вони являються нехарактерними цілями для ЗРК [2]. Повітряні цілі такого типу рухаються на малих висотах, що ускладнює їх виявлення при використанні радіолокаційних систем. Частка ураження військ та об'єктів із застосуванням безпілотних літальних комплексів стала домінуючою у порівнянні з іншими засобами ураження.

Отже, одним із актуальних завдань щодо захисту військ та об'єктів в сучасних умовах ведення бойових дій є створення ефективної системи протидії БПЛА.

### **Теоретичні основи дослідження**

Питанням щодо протидії БПЛА присвячено достатньо багато досліджень, аналіз яких вказує на постійне вдосконалення методів боротьби з ними за допомогою різних зенітно-ракетних комплексів, стрілецької зброї, засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ), спеціальних гармат, енергетичної зброї, а також застосування БПЛА-перехоплювачів та осколкових боеприпасів.

Так, в роботах [3-5] показано аналіз особливостей озброєння для протидії БПЛА для підсистем розвідки, вогневого впливу та радіоелектронної боротьби при створенні системи боротьби з безпіотною авіацією в угрупованні зенітних ракетних військ, проаналізовано характеристики та можливості засобів протиповітряної оборони іноземного виробництва та наведені напрямки удосконалення ЗРК вітчизняного виробництва.

В роботі [6] проведено аналіз застосування стрілецької зброї для протидії повітряних цілей та надані рекомендації щодо ефективного вогню по маловисотних повітряних цілях під час виконання завдань захисту об'єктів та військ від ураження БПЛА.

В роботах [7-9] розглянуті питання аналізу та застосування пасивних засобів протидії БПЛА (засобів РЕБ, лазерної, мікрохвильової та електромагнітної зброї) та можливості їх застосування Силами оборони України. Наведений порядок застосування багатофункціональних комплексів РЕБ провідних країн світу та запропоновані шляхи підвищення ефективності роботи засобів РЕБ українського виробництва. Проаналізовано застосування лазерної, мікрохвильової та електромагнітної зброї для протидії БПЛА.

В роботах [10] представлені результати систематизації та аналізу різних способів та засобів протидії БПЛА, заснованих на вогневому ураженні та фізичному перехопленні БПЛА. Аналіз дозволяє провести багатоаспектний аналіз сучасних комплексів ураження повітряних цілей в тому числі БПЛА-перехоплювачів.

В роботах [11-15] показано можливість використання осколкових боеприпасів для вирішення завдань по відбиттю атак БПЛА. Проведено моделювання ситуації атаки малорозмірних низьколітаючих повітряних цілей та розрахунок імовірності ураження БПЛА інженерними боеприпасами типу МОН. Розглядається питання, пов'язані з характеристикою уражаючої дії осколків при підриві артилерійського снаряду перед малогабаритною повітряною ціллю та проведемо оцінку їх ефективності. Проведено обґрунтування способів та засобів протидії ударним БПЛА, а також оцінка можливості осколкових боеприпасів з вибором форми, маси і матеріалу осколка.

Проте, результати, які висвітлені в наведених роботах не дозволяють в повній мірі досягти потрібної ефективності захисту військ та об'єктів від ураження БПЛА при обмеженому фінансовому ресурсі, що визначає пошук додаткових шляхів забезпечення протидії БПЛА. В розглянутих роботах не достатня приділена увага застосуванню осколкових інженерних боеприпасів, дія яких заснована на ураження цілі хмарою осколків.

Таким чином, **метою статті** є обґрунтування доцільності застосування інженерних осколкових вибухових пристроїв направленої дії для ураження малошвидкісних, низьколітаючих безпілотних літальних апаратів на основі аналізу існуючих способів та засобів протидії безпілотним літальним апаратам.

### Постановка проблеми

На сьогоднішній день існує багато шляхів рішення проблеми щодо захисту військ та об'єктів від ураження повітряними цілями типу БПЛА, проте вони не враховують питання економічної ситуації і технологічної сторони питання. Отже, при розробці технічних рішень і тактичних прийомів потрібно враховувати можливості використання існуючих на озброєнні Сил оборони України засобів та часових факторів для розробки нових зразків протидії БПЛА. При цьому основними вимогами до засобів протидії БПЛА є високоефективне застосування їх за будь-яких погодних умов, простота в обслуговуванні та застосуванні, готовність до багаторазового використання, відносно не висока вартість.

У зв'язку з цим необхідно розглянути можливості щодо використання додаткових засобів для протидії БПЛА і розробку нових та вдосконалення існуючих способів та засобів захисту військ та об'єктів від ураження повітряних цілей такого типу.

### Результати

Досвід локальних війн і збройних конфліктів вказує на постійне зростання застосування БПЛА на полі бою, як ефективного засобу ураження військ та об'єктів. На сьогоднішній день не можливо уявити будь-який збройний конфлікт без використання БПЛА різного призначення. Для захисту військ та об'єктів постає необхідність у вирішенні питання щодо боротьби з БПЛА всіма наявними методами та засобами.

Аналіз останніх досліджень щодо використання засобів боротьби з БПЛА дозволяє виділити наступні напрямки протидії БПЛА: застосування зенітно-ракетних комплексів, стрілецької зброї, спеціальних гармат, засобів РЕБ, енергетичної (лазерної, електромагнітної, мікрохвильової) зброї, БПЛА-перехоплювачів, осколкових боєприпасів (рис. 1).

Можна зауважити, що ЗРК відноситься до найбільш поширеного засобу знищення БПЛА, перевагою яких є великі дальності ураження цілі та можливість уражати різні типи повітряних цілей.

Для ефективного ураження БПЛА застосовуються ЗРК середньої та малої діяльності з поєднанням гарматно-ракетного озброєння [5].

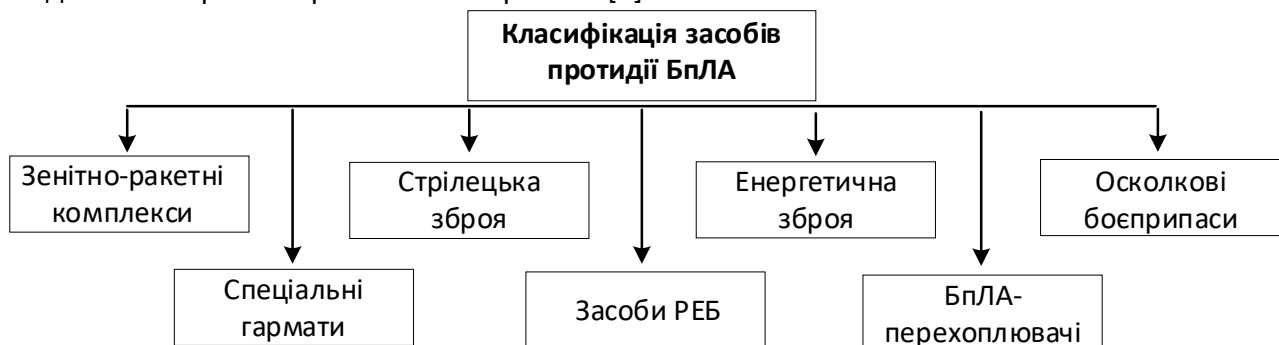


Рисунок 1 – Класифікація засобів протидії безпілотним літальним апаратам

В табл. 1 наведено основні ЗРК з технічними характеристиками, які застосовуються для ураження БПЛА з огляду на збройні конфлікти в Сирії, Нагірному Карабаху та Україні [3, 4, 16].

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики ЗРК які застосовуються для ураження

БПЛА

| Найменування виробу | Технічні характеристики |                      |                                  |                    | Ціна за один боєприпас (з відкритих джерел), у.о. | Країна виробник |
|---------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------------|--------------------|---|-----------------|
|                     | Дальність Ураження , км | Висота ураження , км | Максимальна швидкість цілі , м/с | Боєкомплект , к-ть |   |                 |
| Бук-М1              | 35                      | 22                   | 830                              | 4                  | 23443   | СССР            |
| Оса-АКА             | 10,3                    | 5                    | 300                              | 6                  | 10386   | СССР            |
| ЗСУ 23-4 “Шилка”    | 2,5                     | 1,5                  | 450                              | 2000               | 176   | СССР            |
| 2С6 “Тунгуска”      | 4-8                     | 3,5                  | 500                              | 1936/8             | 523   | СССР            |
| 9К35 “Стріла-10”    | 5                       | 3,5                  | 415                              | 8                  | 2311  | СССР            |
| 9К34 “Стріла-3”     | 4,1                     | 2,3                  | -                                | 1                  | 29017   | СССР            |
| МІМ-104 “Patriot”   | 160                     | 24                   | 2213                             | 4                  | 2666666   | США             |
| NASAMS              | 40                      | 16                   | 1000                             | 6                  | 660444  | Норвегія        |
| SAMP-T              | 100                     | 20                   | -                                | 8                  | 1777777   | Франція         |
| МІМ-23 “Hawk”       | 40                      | 18                   | -                                | 3                  | 222222  | США             |
| Flakpanzer “Gepard” | 4                       | 3                    | -                                | 224                | 33  | Німеччина       |
| Starstreak          | 6                       | 5                    | -                                | 8                  | 14608   | Велика Британія |
| FIM-92 “Stinger”    | 8                       | 3,8                  | 340                              | -                  | 6591  | США             |
| Mistral 2S          | 6                       | 3                    | 408                              | -                  | 9698  | Франція         |

Проте, у застосуванні даних засобів є недоліки, основними з яких є: незначний боєкомплект ракет, в деяких ЗРК за рахунок великих розмірів зменшується мобільність, у переносних ЗРК проблема з самонаведенням зенітно-керованих ракет (ЗКР) на ціль, зниження ефективності при застосуванні роїв БПЛА, мала ефективність при ураженні малорозмірних цілей, які мають низькі значення теплових та радіолокаційних сигнатур, а також висока вартість сучасних ЗРК та боєприпасів до них, що робить недоцільним використання їх по дешевим БПЛА [11]. Ці фактори призводять до того, що засоби протиповітряної оборони, як показує практика, обирають пріоритетні цілі, які відповідають їх призначенню.

Для ураження БПЛА в деяких випадках можуть використовуватися спеціальні гармати (як правило, корабельне озброєння). Основний принцип використання таких засобів заснований на використанні великої кількості уражаючих елементів різних форм, що стабілізується обертанням, щоб поліпшити структуру зони уражаючих елементів для більш ефективного ураження цілі. Черга таких снарядів формує так звану осколкову хмару в формі конуса, потрапивши в яку ціль отримує численні ушкодження і практично гарантовано знищується [5].

При застосуванні стрілецької зброї окремими військовослужбовцями (типу АК-74, РПК, ПК, тощо) для протидії БПЛА необхідно врахувати високу навченість особового складу, швидкість цілі, погодні умови, час доби. Використання наявних правил стрільби і прицільних пристосувань основних зразків стрілецької зброї під час стрільби з великими значеннями кута місця цілі призводить до значного зниження ефективності стрільби, тому цей метод протидії

БПЛА використовується лише в окремих випадках за відсутності інших засобів протидії.

Також при використанні спеціальних гармат та стрілецької зброї виникає питання щодо визначення траєкторних характеристик повітряної цілі. Ураження БПЛА буде відбуватися лише при прямій видимості, за умов відомого напрямку руху цілі, що ускладнює даний процес.

З метою насичення системи протиповітряної оборони проти БПЛА в Силах оборони України створені мобільні вогневі групи (МВГ), які відіграють важливу роль у відбитті ворожих атак з повітря. МВГ призначені для знищення рухомих повітряних цілей, що повільно летять на малих висотах стрілецьким озброєнням, переносними зенітно-ракетними комплексами (ПЗРК), зенітними установками встановленими на автомобілі підвищеної прохідності. Для виявлення цілі використовуються електронні детектори, оптичні прилади спостереження (монокуляри, тепловізори), планшет з програмним забезпеченням “Кропива”. По досвіду роботи МВГ одним із ефективних способів ураження цілі є застосування мисливських рушниць з боєприпасам “картеч”, помпові рушниці, в яких використовується велика кількість уражаючих елементів [14].

Перевагами застосування МВГ є їх мобільність, а недоліками – складність ураження стрілецькою зброєю БПЛА та самонаведенням ПЗРК на ціль, велика ціна ракет до ПЗРК, які використовують для ураження цілі, несприятливі погодні умови, що ускладнюють роботу МВГ.

Наступним способом боротьби є застосування засобів РЕБ. Основними показниками засобів РЕБ під час боротьби з БПЛА є: дальність подавлення БПЛА, сектор подавлення, діапазон робочих частот. Нейтралізація БПЛА за допомогою РЕБ здійснюється шляхом виявлення джерела випромінювання з подальшим інформаційним подавленням цих сигналів за рахунок постановки радіоелектронних завад приймачам навігаційних сигналів у певній зоні, що в підсумку дезорієнтує апарат і призводить до зриву виконання ним бойового завдання. Одним із пріоритетних розробок засобів РЕБ є малогабаритні переносні засоби радіоелектронного подавлення (РЕП) типу «електронних автоматів» або «електронних рушниць», характеристики деяких представленні в табл. 2 [1, 2].

**Таблиця 2 – Основні технічні характеристики переносних засобів РЕП типу «електронні рушниці»**

| Найменування виробу                            | Технічні характеристики |                |                      |                    | Країна виробник |
|--|-------------------------|----------------|----------------------|--------------------|-----------------|
|  | Радіус придушення, м    | Час роботи, хв | Споживча енергія, Вт | Вага комплекту, кг |                 |
| Квартус AD G-6                                 | до 3500                 | 40             | 150                  | 6                  | Україна         |
| <i>Sky Wiper EDM4S</i>                         | 3000-5000               | 40             | 100                  | 5,5                | Литва           |
| ЛПД-820  | 4000                    | 60             | 150                  | 5                  | рф              |
| DroneGun Tactical                              | 2500                    | 120            | 200                  | 7,5                | Австралія       |
| Drone Defender                                 | 400                     | 30             | 100                  | 4,8                | США             |
| Smart Shooter                                  | 800                     | 60             | 150                  | 5                  | Ізраїль         |
| Rheinmetall Defence                            | 2500                    | 120            | 200                  | 7,5                | Німеччина       |
| China Electronics Technology Group Corporation | 1300                    | 30             | 100                  | 4,8                | Китай           |

Основними проблемними питаннями щодо боротьби з БПЛА засобами РЕБ є те, що подавлення може відбуватися лише у відповідному діапазоні роботи системи навігації та керування БПЛА, якщо в БПЛА інший діапазон то подавлення не відбудеться. Дуже часто оператори БПЛА при виявленні засобів РЕБ переходять на іншу частоту керування.

У зв'язку з тим, що БЛА управляється оператором, а команди передаються по радіоканалу, придушення каналу управління засобами РЕБ здатне, як мінімум, перешкодити виконанню завдання. При чому, деякі сучасні БЛА мають можливість автономного виконання завдань, рухаються по навігаційній системі і не керуються оператором, тому придушення їх за допомогою РЕБ поки у повному обсязі що не можливо [8].

На сьогоднішній день розробляється та впроваджується чимало інших перспективних систем протидії БЛА, до яких відноситься енергетична зброя.

Розробки даної зброї ще проводилися у 80-х років ХХ століття. Такі країни як США, Ізраїль, Туреччина, Японії та інші активно розробляють енергетичну зброю, вбачаючи в ній дешевшу за показником одного пострілу та не менш ефективну альтернативу ракетам протиповітряної оборони.

В табл. 3 наведенні основні системи енергетичної зброї провідних країн світу [17].

**Таблиця 3 – Основні зразки високоенергетичної зброї провідних країн світу**

| Найменування виробу                                 | Рік розробки | Тип  | Країна виробник |
|---|--------------|--|-----------------|
| Tactical High-energy Laser system (THEL)            | 1995-2005    | Система протиракетної оборони на базі хімічного твердого лазера            | Ізраїль, США    |
| Laser Weapon System (система LaWS)                  | 2007         | Бойова лазерна система   | США             |
| High-Energy Laser (HEL)                             | 2000-2015    | Мобільна лазерна установка   | Німеччина       |
| Accelerated Laser Demonstration Initiative (ATHENA) | 2017         | Універсальний комплекс твердого лазера                                     | США             |
| Комплекс Alka                                       | 2010         | Система протиповітряної оборони на основі лазерної, електромагнітної зброї | Туреччина       |
| Система Light Blade                                 | 2020         | Стаціонарна лазерна установка  | Ізраїль         |
| Light Blade-1                                       | 2019         | Лазерна установка  | Китай           |

Розвиток технологій дозволив ініціювати велику кількість робіт у напрямку створення мобільних комплексів енергетичної зброї для боротьби з безпілотною технікою. Дана зброя на основі своїх фізичних принципів, залишається зброєю ближньої дії (не більше 3-4 км) з дуже дорогим обладнанням, малоефективною під час несприятливої погоди [18]. Вона ділиться на дві групи: сліпуча зброя; зброя прямого руйнування. Сліпуча зброя призначена для ураження елементів оптико-електронної системи шляхом випалювання приймачів фото та відеоінформації під час потрапляння лазерного променя в об'єктив. Зброя прямого руйнування порушує цілісність конструкції літального апарату, шляхом передавання теплової енергії вибух або інтенсивного горіння вибухових або легкозаймистих речовин, що знаходяться на повітряній цілі (бойовий заряд, паливо).

Для використання такої зброї необхідна велика кількість енергії. Так для виведення з ладу оптико-електронної системи БЛА необхідна установка з потужністю 20 кВт, а для суцільного ураження від 200 до 800 кВт. Проблемним питанням щодо використання такого типу зброї є також його габаритні розміри які зменшують маневреність та швидкість зміни позиції.

Для того, щоб уразити лазером елемент конструкції повітряної цілі на відстані 2000 м потрібна кутова точність лазерного променя 0,00145°. Оскільки БЛА перебуває в русі та маневрує, а для нанесення пошкодження конструкції необхідне утримування променя в точці

протягом 3-5 с, то реальна точність виставки лазерного променя для отримання результату має бути на порядок вищою, що є найбільшою проблемою у застосуванні даної зброї проти БПЛА [19].

Отже, основними недоліками щодо використання енергетичної зброї є необхідність високого рівня потужності, як результат для вироблення електроенергії та охолодження великі місця для обладнання. Крім того, ефективність енергетичної зброї значно залежить від погодних умов і дальності до цілі [19].

Наступним перспективним засобом боротьби з ворожими БПЛА являється БПЛА-перехоплювачі. Для оснащення БПЛА-перехоплювачів можуть застосовуватися різні засоби: зенітні ракети, малокаліберні гладкоствольні пушки, об'ємні сітки з міцного матеріалу, горючі та клейкі аерозолі, вибухові речовини (ВР), тощо. Також на БПЛА може встановлюватися стрілецька зброя, перевагою якої є відносно невелика вартість, простота та використання і обслуговування. Основні з перспективних зразків БПЛА-перехоплювачів провідних країн світу наведені в табл. 4 [20].

**Таблиця 4 – Перспективні зразки БПЛА-перехоплювачів провідних країн світу**

| Найменування виробу | Засіб ураження      | Ціна за одиницю (з відкритих джерел) у.о. | Країна виробник |
|---------------------|---------------------|---|-----------------|
| Drone Bullet        | ВР                  | 377778                                    | Канада          |
| Akinci              | ЗРК "Sungur"        | 3333333                                   | Туреччина       |
| Bayraktar TB2       | ЗРК "Sungur"        | 5777778                                   | Туреччина       |
| Drone Hunter F700   | сітка               | 5555555                                   | США             |
| Hero                | ВР                  | 31111                                     | США             |
| Morfius             | мікрохвильова зброя | 266667                                    | США             |
| Coyote 2C           | ВР                  | 8222222                                   | США             |
| Anvil-M             | ВР                  | 3337                                      | США             |

Їх перевагами є: багато функціональність на одній платформі, ураження і перехоплення БПЛА противника на стадії їх руху до цілі.

Проте є її недоліки: вартість засобу ураження на БПЛА може суттєво перевищувати вартість самих БПЛА, що знищуються; низька ефективність застосування БПЛА-перехоплювача проти груп малогабаритних маневрених БПЛА, необхідність висококваліфікованих операторів [19].

Таким чином, різноманітні ЗРК та БПЛА-перехоплювачі досить ефективні проти великих за розміром БПЛА, але виникає проблема з ураження мікро та міні-БПЛА, особливо з низьколітаючими та маловидкісними цілями. Безконтактні засоби протидії БПЛА мають широкий сектор використання, проте, деякі з них, а саме лазерна, мікрохвильова, електромагнітна зброя знаходяться на стадії розробки та не застосовувалися у збройних конфліктах. Засоби РЕБ, на відміну від засобів фізичного впливу, повністю не придушують ціль, яке пов'язано з рядом складнощів під час виявлення і ураження, тому метод протидії за допомогою РЕБ пропонується як альтернативний варіант – придушення радіоелектронних систем. Стрілецька зброя та спеціальні гармати використовуються при певних умовах, як додатковий засіб протидії БПЛА, та в ніякому разі як повноцінна система виявлення та ураження літальних апаратів. МВГ є основним підрозділом боротьби з БПЛА, проте при роботі таких груп є труднощі у знищення БПЛА – складність ураження стрілецькою зброєю, а дорогі ПЗРК не вигідно використовувати.

Отже, основним принципом протидії БПЛА залишається фізична дія на нього з

комплексним застосуванням всіх наявних засобів, для його повного або часткового знищення. На основі аналізу фізичного принципу ураження БПЛА одним із напрямків протидії є використання засобів, що уражають повітряні цілі хмарою осколків.

До таких засобів можна віднести осколкові боєприпаси, принцип яких заснований на ураження цілі високошвидкісним потоком великої кількості однотипних або різнотипних уражаючих елементів, які викидаються зарядом бризантної ВР. Уражаючі елементи представляють собою осколки природного та заданого дроблення або готові уражаючі елементи. Основною вимогою до осколкових боєприпасів є використання максимальної кількості осколків при великих відстанях (радіусах) ураження [21]. Для ураження БПЛА використовуються артилерійські та інженерні боєприпаси.

Артилерійські боєприпаси осколкової дії розглядаються як засіб для боротьби з малогабаритними БПЛА. Стрільба по БПЛА наявними способами обстрілу цілі артилерійськими системами визначаються відповідними умовами стрільби – точністю визначення положення цілі, балістичної, метеорологічної, топогеодезичної, технічної підготовки, визначення вирахованих установок для стрільби та похибок стрільби.

Проблемними питаннями, щодо застосування артилерійських боєприпасів є те, що воно супроводжуватиметься значними похибками, які призведуть до збільшення відхилення польоту снаряда по дальності та напрямку, що істотно вплине на точність ураження цілі, а також визначення точки зустрічі снаряду з повітряною цілю, а також висока їх вартість [12]. В роботі, як альтернативу артилерійським снарядам, пропонується використовувати інженерні боєприпаси проти БПЛА, які низько летять на малих швидкостях.

На відміну від артилерійських боєприпасів, інженерні боєприпаси мають більш точну спрямованість ураження цілі у зв'язку з конструктивними особливостями, що дозволяє управляти характеристиками осколкових полів в достатньо широких межах.

До інженерних боєприпасів здатних протидіяти БПЛА відносяться також противертолітні міни, основні технічні характеристики яких наведені в табл. 5 [14].

**Таблиця 5 – Основні технічні характеристики противертольтних мін провідних країн світу**

| Найменування виробу | Технічні характеристики |                                     |                         |                                  |                     | Країна виробник |
|---------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------|
|                     | Вага, кг                | Дальність (висота) ураження цілі, м | Швидкість цілей, км/год | Тип міни                         | Спосіб встановлення |                 |
| АНМ-200             | 35                      | 100                                 | 350                     | кумулятивна, направлено ураження | вручну, дистанційно | Болгарія        |
| XM93/WAM HORNET     | 15,9                    | 100                                 | 350                     | кумулятивна, направлено ураження | вручну, дистанційно | США             |
| IMZR-11             | 22                      | 150                                 | 300                     | кумулятивна, направлено ураження | вручну, дистанційно | Польща          |
| HELKIR              | 43                      | 150                                 | 250                     | кумулятивна, направлено ураження | вручну, дистанційно | Австралія       |
| Темп-20             | 12                      | 150                                 | 360                     | кумулятивна, направлено ураження | вручну              | рф              |

Противертолітні міни мають акустичний та інфрачервоний датчики цілі, які виконують функцію наведення та фіксування цілі для її ураження. Такі боєприпаси працюють як в автономному режимі, так і за допомогою оператора. Ураження цілі відбувається за рахунок ударного ядра, яке формується під впливом дії ВР.

Основними недоліками противертолітних мін є: обмеження у способах застосування; умовами безпеки – більшість із них не можуть застосовуватися в районах перебування особового складу; ускладнення виявлення цілі у несприятливих метеоумовах (сильний сніг, дощ) – через великі втрати інфрачервоного випромінювання під час поширення від цілі, складність конструкції, а також висока вартість, що робить недоцільним їх використання по БПЛА.

Альтернативним варіантом ураження повітряної цілі, є використання інженерних боєприпасів типу осколкових вибухових пристроїв направленої дії МОН-90 та МОН-200 які знаходяться на озброєнні інженерних підрозділів ЗС України [14].

Осколкові вибухові пристрої направленої дії МОН-90, МОН-200 уражають ціль швидкісним потоком хмари осколків, які розкидаються в заданому секторі з великою щільністю, вони мають дистанційну дію та спроможні уражати ціль на значних відстанях від місця підриву. Конструктивні особливості цих боєприпасів дозволяють обґрунтувати характеристики уламкових полів в достатньо широких межах, що забезпечить високу ефективність ураження БПЛА.

В табл. 6 наведені основні показники осколкових вибухових пристроїв направленої дії типу МОН-90, МОН-200, які необхідні для ефективного ураження БПЛА [21].

**Таблиця 6 – Основні показники осколкових вибухових пристроїв направленої дії**

| Показники                  | Осколкові вибухові пристрої направленої дії |         |
|----------------------------|---|---------|
|                            | МОН-90                                      | МОН-200 |
| Кількість осколків, шт     | 2000  | 900     |
| Вага осколка, кг           | 0,002                                       | 0,0107  |
| Ширина осколкової зони, м  | 60  | 15      |
| Форма осколка              | Циліндрична                                 |         |
| Вага ВР, кг                | 6,2   | 12      |
| Кут метання, град          | 120   | 20      |
| Дальність ураження цілі, м | 90  | 200     |
| Вартість, у.о.             | 37  | 36      |

Також необхідно зауважити, що вартість інженерного боєприпасу такого типу в декілька разів менша за інші засоби протидії БПЛА, що робить їх доцільним для використання за критерієм вартість-ефективність. Проте, оцінка ефективності застосування таких інженерних боєприпасів, як засів протидії БПЛА потребує подальших досліджень, а саме:

- визначення кінематичних параметрів низьколітаючих цілей по результатам зовнішньо-траєкторних вимірювань;
- визначення моменту активації осколкового вибухового пристрою у смузі захисту та часу надходження літальної платформи у зону ураження;
- визначення часу польоту осколка та критичної висоти ураження із врахуванням початкової швидкості та критичної швидкості осколків інженерних боєприпасів;

- розробка структури системи виявлення та ураження низьколітаючих цілей;
- оцінка визначення точності поточних координат низьколітаючої цілі;
- проведення техніко-економічної оцінки;
- розробка рекомендацій щодо застосування системи виявлення та ураження низьколітаючих цілей з використанням інженерних боеприпасів.

Таким чином, аналіз існуючих способів протидії БПЛА дозволяє визначити протиріччя між необхідністю забезпечення високої ефективності протидії БПЛА та недосконалістю існуючих способів протидії. Для підвищення ефективності системи протидії БПЛА в роботі пропонується застосовувати осколкові інженерні боеприпаси направленої дії, як один з елементів системи протидії БПЛА.

### **Висновки**

Постійний розвиток використання БПЛА у системі ураження військ і об'єктів набуло значної ефективності, і на сьогоднішній день передбачає пошук нових способів протидії БПЛА.

В даній роботі проведено аналіз основних існуючих способів і засобів боротьби з БПЛА та перспективних напрямків розвитку систем протидії цим засобам. На основі проведеного аналізу запропоновано спосіб ураження БПЛА за рахунок застосування осколкових інженерних боеприпасів направленої дії, як дешевого засобу.

Сформульовано перелік подальших завдань щодо перевірки ефективності застосування осколкових інженерних боеприпасів направленої дії.

### **Фінансування**

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

### **Конкуруючі інтереси**

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

### **Список використаних джерел**

1. Корольов Р.В. Аналіз сучасних засобів знищення безпілотних літальних апаратів / Р.В. Корольов, Н.О. Королюк, О.В. Петров, К.В. Сюлев // Науково-технічний журнал «Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України». Харків: ХНУПС, 2017. – №4(43). С. 17-21.
2. Єрилкін А.Г. Огляд та аналіз світового досвіду боротьби з ударною безпіотною авіацією / А.Г. Єрилкін, Д.О. Гур'єв, Д.В. Карлов, О.В. Коробецький, Ю.А. Шевченко // Науково-технічний журнал «Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України». Харків: ХНУПС, 2022. – №4(49). С. 15-22.
3. Ярош С.П. Обґрунтування можливості застосування сучасного, удосконаленого та перспективного озброєння для боротьби з безпілотними літальними апаратами в угрупованні зенітних ракетних військ / С.П. Ярош, Д.О. Гур'єв // Науково-технічний журнал «Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України». Харків: ХНУПС, 2021. – № 3(44). С. 88-100.
4. Афонин И.Е. Анализ опыта боевого применения групп беспилотных летательных аппаратов для поражения зенитно-ракетных комплексов системы противовоздушной обороны в военных конфликтах в Сирии, в Ливии и в Нагорном Карабахе / И.Е. Афонин, С.И. Макаренко, С.В. Петров, А.А. Привалов // Systems of Control, Communication and Security, 2020. – №4. С 163-191. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2020-04/06-Afonin.pdf> [Дата звернення 23.04.2024].
5. Макаренко С.И. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным

- аппаратам. Часть 2. Огневое поражение и физический перехват / С.И. Макаренко, А.В. Тимошенко // *Systems of Control, Communication and Security*, 2020. – №1. С 147-197. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2020-01/06-Makarenko.pdf> [Дата звернення 27.12.2023].
6. Біленко О.І. Аналіз можливостей застосування стрілецької зброї для протидії безпілотним літальним апаратам під час виконання завдань із забезпечення безпеки / О.І. Біленко, Д.В. Павлов // *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. НАНГУ, 2023. – №2 (2). С. 10-17.
7. Шумигай О.В. Сучасний стан багатофункціональних засобів та комплексів радіоелектронної боротьби / О.В. Шумигай, О.В. Єрмоленко // *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*, 2020. – № 3(5). С. 119-125.
8. Олійник Р.М. Системи радіоелектронної боротьби з безпілотними апаратами мультиторторного типу в районах ведення бойових дій / Р.М. Олійник, С.В. Цілина, Ю.М. Живець, О.В. Єрмоленко // *Збірник наукових праць Житомирського військового інституту імені С.П. Корольова*. Житомир: ЖВІ, 2020. – №18. С 44-53
9. Шаптала С.О. Використання лазерів для протидії безпілотним літальним апаратам / С.О. Шаптала, Є.О. Романенко, Р.В. Хращевський // *Науковий журнал «Наука і техніка»*. Київ, 2023. – №11 (25). С. 617-629.
10. John Shivute Anghuwo, Peter Imanuel, Sam Shimakeleni Nangolo. Anti-unmanned aerial vehicle detection system for airports: aviation and national security perspective. *Journal of Transportation Security*, 2023 С. 1-17. <https://doi.org/10.1007/s12198-024-00280-w> [Дата звернення 13.02.2024].
11. Соколов Н.А. К проблеме противодействия беспилотным летательным аппаратам в условиях ограниченных ресурсов. Опыт Карабаха / Н.А. Соколов, Д.А. Рябухин // *Известия ЮФУ «Технические науки»*, 2022. С. 17-28. URL: <https://cyberleninka.ru/article> [Дата звернення 11.03.2024].
12. Майстренко О. В. Методика розрахунку ураження безпілотних літальних апаратів артилерійськими боєприпасами / О.В. Майстренко, Є.Г. Іваник, В.В. Прокопенко, Р.В. Бубенщиков, С.І. Стегура // *Військо-технічний збірник Національної академії сухопутних військ*. Львів: НАСВ, 2018. – №3(10). С 34-40.
13. Мельничук А.И. Способы и средства противодействия беспилотным летательным аппаратам. / А.И. Мельничук, Н.В. Горячев, Н.К. Юрков // *Надежность и качество сложных систем*, 2020. – № 4 (32). С 131-138. URL: <https://cyberleninka.ru/article> [Дата звернення 14.03.2024].
14. Ленков С. Аналіз стану розвитку питання захисту об'єктів критичної інфраструктури з використанням інженерних боєприпасів / С. Ленков, В. Кривцун, О. Мірошніченко, С. Голушко, Р. Кольцов // *Науковий журнал «Underwater technologies industrial and civil engineering»*, 2023. С. 81-91. <https://doi.org/10.32347/uwt.2023.13.1803>.
15. Кривцун В.І. Використання осколкових протипіхотних вибухових пристроїв направленої дії як один із засобів протидії БПЛА в умовах обмежених ресурсів / В.І. Кривцун, В.Й. Нагачевський, М.М. Каленик, С.Л. Голушко // *Збірник наукових праць Національної академії державної прикордонної служби України*. Серія: військові та технічні науки, 2024. – № 94(1). С 152-164.
16. Довідник-каталог основних зразків озброєння та військової техніки які застосовувалися протиборчими сторонами під час відсічі широкомасштабного вторгнення рф в Україну // *Міністерство оборони України, Генеральний Штаб ЗС України, Центр досліджень воєнної історії ЗС України*. Київ: Вид. Ліра-К, 2023. 243 с.
17. Дем'яненко В. Лазери проти дронів. Онлайн-медіа Міністерства оборони України

“АрміяInform”. URL: <https://armyinform.com.ua/2021/05/06/lazery-protiv-droniv-2> [Дата звернення 15.04.2024].

18. Борейшо А.С. Лазеры: Устройство и действие: Учеб. пособие. – СПб: Мех. ин-т, 1992. – 215 с.
19. Ростопчин В.В. Ударные беспилотные летательные аппараты и противовоздушная оборона – проблемы и перспективы противостояния // Беспилотная авиация. 2019. URL: <https://www.researchgate.net/publication/331772628> [Дата звернення 24.04.2024].
20. Militarnyi, ГО «Український мілітарний центр». Випробування реактивного дрона-перехоплювача Bullet. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/v-ukrayini-vyprovovuyut-reaktyvnyi-dron-perehoplyuvach-bullet> [Дата звернення 16.07.2024].
21. Колос Р.Л., Фтемов Ю.О., Каршень А.М., Швець О.О., Павлючик В.П., Бамбуляк М.П., Данилов Д.Д., Кузьмичов А.В., Нещадін О.В., Баранов Ю.М. Інженерні загородження. Частина 1. Влаштування інженерних загороджень. Навч. посібник / Львів: НАСВ, 2018. 375 с.

## References

1. Korolov R.V. (2017). Analysis of modern means of destroying unmanned aerial vehicles / R.V. Korolov, N.O. Koroliuk, O.V. Petrov, K.V. Siulev // Scientific and Technical Journal «Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine». Kharkiv: KhNUPS. No. 4(43). pp. 17-21.
2. Yerylkin A.H. (2022). Review and analysis of the world's experience in combating unmanned aerial vehicles / A.H. Yerylkin, D.O. Huriev, D.V. Karlov, O.V. Korobetskyi, Yu.A. Shevchenko // Scientific and Technical Journal «Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine». Kharkiv: KhNUPS. No. 4(49). pp. 15-22.
3. Yarosh S.P. (2021). Substantiation of the possibility of using modern, advanced and promising weapons to combat unmanned aerial vehicles in a group of anti-aircraft missile forces / S.P. Yarosh, D.O. Huriev // Scientific and Technical Journal «Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine». Kharkiv: KhNUPS. No. 3(44). pp. 88-100.
4. Afonyn Y.E. (2020). Analysis of the experience of combat use of unmanned aerial vehicle groups to defeat air defence missile systems in the military conflicts in Syria, Libya and Nagorno-Karabakh [Date of access April 23, 2024] / Y.E. Afonyn, S.Y. Makarenko, S.V. Petrov, A.A. Pryvalov // Systems of Control, Communication and Security No. 4. pp. 163-191. Retrieved From: <http://sccs.intelgr.com/archive/2020-04/06-Afonin.pdf>
5. Makarenko S.Y. (2020). Analysis of means and methods of countering unmanned aerial vehicles. Part 2. Fire damage and physical interception [Date of access December 27, 2023] / S.Y. Makarenko, A.V. Tymoshenko // Systems of Control, Communication and Security No. 1. pp. 147-197. Retrieved From: <http://sccs.intelgr.com/archive/2020-01/06-Makarenko.pdf>
6. Bilenko O.I. (2023). Analysis of the Possibilities of Using Small Arms to Counteract Unmanned Aerial Vehicles in the Performance of Security Tasks / O.I. Bilenko, D.V. Pavlov // Collection of scientific papers of the National Academy of the National Guard of Ukraine. NANGU, No. 2(2). pp. 10-17.
7. Shumyhai O.V. (2020). The current state of multifunctional electronic warfare equipment and systems / O.V. Shumyhai, O.V. Yermolenko // Collection of scientific papers of the State Research Institute for Testing and Certification of Arms and Military Equipment, No. 3(5) pp. 119-125.
8. Oliinyk R.M. (2020). Systems for electronic warfare against multi-rotor unmanned aerial vehicles in combat areas / R.M. Oliinyk, S.V. Tsilyna, Yu.M. Zhyvets, O.V. Yermolenko // Collection of scientific papers of the Zhytomyr Military Institute named after S.P. Koroliov. Zhytomyr: ZHVI, 2020. – No. 18. pp. 44-53.

9. Shaptala S.O. (2023) Using lasers to counter unmanned aerial vehicles / S.O. Shaptala, Ye.O. Romanenko, R.V. Khrashchevskiy // Scientific journal «Science and Technology». Kyiv – No. 11 (25). pp. 617-629.
10. John Shivute Anghuwo, Peter Imanuel, Sam Shimakeleni Nangolo. (2023). Anti-unmanned aerial vehicle detection system for airports: aviation and national security perspective. [Date of access February 13, 2024] Journal of Transportation Security, pp. 1-17. Retrieved From: <https://doi.org/10.1007/s12198-024-00280-w>
11. Sokolov N.A. (2022). Towards the problem of countering drones in resource-limited environments. Experience of Karabakh [Date of access March 11, 2024] / N.A. Sokolov, D.A. Riabukhyn // Izvestiya YuFU «Technical Sciences» pp. 17-28. Retrieved From: <https://cyberleninka.ru/article>
12. Maistrenko O. V. (2018). Methodology for calculating the defeat of unmanned aerial vehicles by artillery munitions / O.V. Maistrenko, Ye.H. Ivanyk, V.V. Prokopenko, R.V. Bubenshchykov, S.I. Stehura // Military Technical Digest of the National Academy of Land Forces. Lviv: NASV, No. 3 (10). pp. 34-40.
13. Melnychuk A.Y. (2020). Ways and means of countering unmanned aerial vehicles [Date of access March 14, 2024] / A.Y. Melnychuk, N.V. Horiachev, N.K. Yurkov // Reliability and quality of complex systems, No. 4 (32). pp. 131-138. Retrieved From: <https://cyberleninka.ru/article>
14. Lienkov S. (2023). Analysing the state of development of the issue of protecting critical infrastructure facilities using engineered munitions / S. Lienkov, V. Kryvtsun, O. Mirosnichenko, S. Holushko, R. Koltsov // Scientific journal «Underwater technologies industrial and civil engineering» pp. 81-91. Retrieved From: <https://doi.org/10.32347/uwt.2023.13.1803>.
15. Kryvtsun V.I. (2024). The use of fragmentation anti-personnel explosive devices as a means of countering UAVs in conditions of limited resources / V.I. Kryvtsun, V.I. Nahachevskiy, M.M. Kalenyk, S.L. Holushko // Collection of scientific papers of the National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine. Series: military and technical sciences. No. 94(1). pp. 152-164.
16. Directory-catalogue of the main models of weapons and military equipment used by the opposing sides during the repulsion of the large-scale invasion of Russia into Ukraine (2023) // Ministry of Defence of Ukraine, General Staff of the Armed Forces of Ukraine, Centre for Military History Research of the Armed Forces of Ukraine. Kyiv: Lyra-K Publishing House. 243 p.
17. Demianenko V. (2024). Lasers against drones. [Date of access May 15, 2024] Online media of the Ministry of Defence of Ukraine «АрміяInform». Retrieved From: <https://armyinform.com.ua/2021/05/06/lazery-proty-droniv-2>
18. Boreisho A.S. (1992). Lasers: Device and action: Textbook. – SPb: Mechanical Institute, 215 p.
19. Rostopchyn V.V. (2019). Strike drones and air defence – problems and prospects of confrontation. [Date of access April 24, 2024] // Unmanned Aviation. Retrieved From: <https://www.researchgate.net/publication/331772628>
20. Militaryni, NGO «Ukrainian Military Centre». Test of a jet interceptor drone Bullet. [Date of access July 16, 2024] Retrieved From: <https://mil.in.ua/uk/news/v-ukrayini-vyprovovuyut-reaktyvnyi-dron-perehopyuvach-bullet>
21. Kolos R.L., Ftemov Yu.O., Karshen A.M., Shvets O.O., Pavliuchyk V.P., Bambuliak M.P., Danylov D.D., Kuzmychov A.V., Neshchadin O.V., Baranov Yu.M. (2018). Engineering barriers. Part 1: Installation of engineering barriers. Study guide / Lviv: NASV. – 375 p.