Оцінювання ефективності захисту стратегічно важливих об’єктів від безпілотних літальних апаратів силами протиповітряної оборони

Юлія Бабій
докторка технічних наук, головна редакторка видавництва
Національна академія Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького
29000, вул. Шевченка, 46, Хмельницький, Україна
e-mail: julscorpio2014@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2717-1283

Віктор Поліщук
кандидат військових наук
доцент кафедри прикордонної служби
Національна академія Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького
29000, вул. Шевченка, 46, Хмельницький, Україна
e-mail: Polishchuk_78@i.ua
ORCID: 0000-0002-9654-9015

Леся Балагур
старша викладачка кафедри загальновійськових дисциплін
Національна академія Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького
29000, вул. Шевченка, 46, Хмельницький, Україна
e-mail: balagurlesa@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1137-1670

Дмитро Черноусов
викладач кафедри прикордонної служби
Національна академія Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького
29000, вул. Шевченка, 46, Хмельницький, Україна
E- mail: lehih1991@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9012-2372

Дмитро Ткачук
доцент кафедри прикордонної безпеки
Національна академія Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького
29000, вул. Шевченка, 46, Хмельницький, Україна
e-mail: tdv30041102@gmail.com
ORCID: 0000-0001-1127-5742

Кирило Дремлюга
викладач кафедри військової підготовки
Національна академія Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького
29000, вул. Шевченка, 46, Хмельницький, Україна
e-mail: kirilo-kirill@ukr.net
ORCID: 0009-0004-1297-3771

Анотація (Abstract). Актуальність дослідження обумовлена необхідністю захисту стратегічно важливих об’єктів від терористичних дій з повітря. Зокрема, досвід провідних країн світу свідчить про те, що найбільш ефективним захистом стратегічно важливих об’єктів від терористичних дій з повітря є поєднання принципів дії засобів спеціального призначення. У зв’язку із цим, доцільно розглянути деякі питання, що стосуються сумісності цих засобів під час здійснення захисту стратегічно важливих об’єктів від терористичних дій або нападу з повітря. Разом із тим, вивчивши ці питання, отримаємо можливість здійснити оцінювання результатів сумісних дій, а також розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо їх ефективного застосування. Отже, автори статті мають на меті виявити чинники, які у сучасних умовах російсько-української війни найбільше впливають на ефективність інженерного захисту стратегічно важливих об’єктів. Водночас, з урахуванням цих чинників здійснено оцінювання ефективності захисту стратегічно важливих об’єктів від безпілотних літальних апаратів силами протиповітряної оборони, за допомогою якого можна отримувати більш коректні результати. А на їхній основі – розробляти практичні рекомендації щодо підвищення захисту стратегічно важливих об’єктів від безпілотних літальних апаратів, зокрема й під час ведення бойових дій. У статті представлено структурно-логічну схему методичного підходу до вибору місця розташування засобів протиповітряної оборони під час захисту стратегічно важливого об’єкта від безпілотних літальних апаратів, наведено опис етапів оцінювання, основні вихідні дані, часткові та узагальнений показники ефективності, критерії та умови оцінювання. Обґрунтовано необхідність об’єднання в єдине ціле системи протиповітряної оборони, визначено критерії оцінювання ефективності організації сумісних дій протиповітряної оборони. У цій роботі розглядаються питання щодо сумісного застосування засобів протиповітряної оборони і радіоелектронного впливу під час захисту стратегічно важливого об’єкта, методики визначення місць розміщення засобів фізичного впливу, що дозволяє оцінити очікувані результати сумісних дій, а також розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо їх ефективного сумісного застосування у складі спеціальних груп та пропозиції щодо їх спеціальних дій в різних умовах обстановки під час захисту та збереження стратегічно важливих об’єктів. Матеріали статті становлять практичну цінність для органів управління, які під час планування застосування засобів фізичного впливу виконують розрахунки з визначення потрібного обсягу інженерних заходів для підвищення їхньої живучості під час здійснення захисту стратегічно важливого об’єкта від безпілотних літальних апаратів.

Ключові слова (Keywords): стратегічно важливий об’єкт, безпілотний літальний апарат, сили протиповітряної оборони, радіоелектронна боротьба.

Вступ (Introduction)

На території більшості держав розміщено значну кількість стратегічно важливих об’єктів (далі – СВО), зокрема військових, ступінь небезпеки яких встановлюється залежно від частки мирного населення, котре потрапляє в зону можливого знешкодження у разі аварії на ньому. Стратегічно важливими об’єктами є об’єкти енергетичної, хімічної, продовольчої, транспортної, фінансової та банківської, інформаційно-технологічної та телекомунікаційної сфер, комунального господарства: водо-, тепло, газопостачання; охорони здоров’я та атомної промисловості, арсенали та склади військового призначення. Разом із тим, наслідки аварій на СВО можуть бути достатньо суттєвими – руйнування або знищення інфраструктури, завдавання значних економічних втрат, та, найголовніше, – втрата життя людей.

Роль і місце безпілотних літальних апаратів (далі – БпЛА) у веденні воєнних конфліктів свідчать про їх масоване, інтегральне та глобальне застосування для одночасного розв’язання багатьох задач. Зокрема, розвиток безпілотної авіації відкрив нові можливості для проведення терористичних дій з повітря стосовно СВО. Досвід збройних конфліктів (Лівія, Сирія, Нагірний Карабах, Україна), показує зростання ролі безпілотної авіації. Один із її важливих напрямів пов’язаний з розробленням БпЛА, завдяки застосуванню яких можна

мінімізувати втрати особового складу, замінивши людський ресурс високотехнологічними засобами. Це дозволяє зробити висновок про те, що противник з високою ймовірністю розпочне бойові дії безпосередньо із застосуванням ракетного озброєння та авіації (у тому числі безпілотної) шляхом ведення повітряної наступальної операції.

Переміщення збройної боротьби у повітряний простір підвищує роль авіаційної та протиповітряної компоненти збройних сил, від ефективності застосування яких буде залежати ступінь досягнення стратегічної мети воєнних дій. Якщо авіація та сили протиповітряної оборони (далі – ППО) виконують завдання в повітряній оборонній операції, то сили та засоби сухопутних військ зможуть реалізувати завдання під час наземної частини збройного конфлікту, у іншому випадку (без авіації та ППО) противник досягне стратегічних цілей і конфлікт буде вичерпано, або нікому буде виконувати завдання в ході реалізації наземної частини збройного конфлікту.

Аналіз російсько-української війни свідчить про зростаюче застосування противником БпЛА для ураження СВО з метою дестабілізації ситуації в країні та зниження її обороноздатності (Залужний, Мойсюк, Шаптала, 2022; Synyshyn M. M., Demchyshyn V. S., Karasyov D. L., Grinchenko V. V., Babiy Yu. O., Miroshnichenko O. V., 2023). Зокрема, з урахуванням цих чинників у статті здійснено оцінювання ефективності захисту СВО від БпЛА силами протиповітряної оборони, використання якої дозволить отримувати більш коректні результати, а на їхній основі розробляти практичні рекомендації щодо підвищення їх захисту.

Виконання цього завдання потребує розгляду понятійного апарату взаємодії засобів ППО та радіоелектронної боротьби (далі – РЕБ) під час вирішення завдань протиповітряної оборони; визначення їхньої сумісності та критеріїв оцінювання ефективності організації взаємодії під час ведення військами (силами) протиповітряної оборони.

Матеріали та методи (Materials and Methods)

Аналіз сучасних збройних конфліктів переконує в тому, що найбільш ефективним захистом об’єктів від терористичних дій з повітря є поєднання зусиль засобів спеціального призначення. З цією метою варто розглянути деякі питання сумісності цих засобів під час здійснення захисту СВО від терористичних дій або нападу з повітря. Вивчення цих питань дозволить оцінити очікувані результати сумісних дій, а також розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо їх ефективного застосування.

У статті розглядаються питання, що стосуються взаємодії (Волков А. Ф., Яненко О. А., Кравченко О. А., 2019) сумісного застосування засобів ППО та РЕБ під час захисту СВО, методики визначення місць розміщення засобів ППО та РЕБ (Лезік О. В., Орєхов С. В., Косенко Г. П., 2015), що дає можливість оцінити очікувані результати сумісних дій, а також розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо їх ефективного застосування у складі спеціальних груп та практичні рекомендації щодо їхніх спеціальних дій в різних умовах обстановки під час захисту та збереження СВО.

Дробаха Г. А. (2014) розглянув понятійний апарат взаємодії засобів ППО та РЕБ під час вирішення завдань протиповітряної оборони у складі міжвидових угруповань військ (сил), а також її сутності і змісту, форм і способів її організації та здійснення.

Волков А. Ф. (2019) обґрунтував необхідність об’єднання системи ППО в єдине ціле, зокрема, розглянув основні питання щодо корисності взаємозв’язків спільнодіючих елементів системи взаємодії під час ведення ППО військ (сил) та залежність процесів взаємодії від основних властивостей системи управління, таких як стійкість та оперативність.

Лезік В. О. (2015) встановив, що під час оцінювання ефективності взаємодії необхідно вимірювати ступінь вигоди та корисності взаємозв’язків спільнодіючих елементів системи взаємодії, тобто ефективність впливу одного із взаємодіючих елементів системи взаємодії на інший вимірюється залежно від зміни ефективності останнього. При цьому показники, що застосовуються для характеристики кожного з видів впливу, мають відображати не тільки

позитивний результат (результат організованої взаємодії), а й можливі негативні наслідки неорганізованої взаємодії.

Під час організації ППО вагомого значення набуває здійснення сумісності, яка є цілеспрямованою діяльністю командирів та значною мірою допомагає досягти визначеної ефективності створеної системи ППО. Однак на цей час немає однозначного тлумачення поняття "сумісність", що обумовлено складністю її структури та потребою охоплення всього змісту під час вирішення різноманітних завдань. Найбільш поширеним є визначення взаємодії військ як погоджених за цілями, завданнями, місцем, часом і способами виконання завдань дій військ (сил) для досягнення мети бою (операції) (Литвин М. М., Аллеров Ю. В., Кириченко І. В., 2003). Зокрема, взаємодія військ розглядається як один із найважливіших принципів та умов підготовки і ведення операцій, успіху яких може бути досягнуто лише об'єднаними, чітко скоординованими зусиллями всіх сил і засобів на основі єдиного замислу і плану бойових дій. Проте істотним недоліком існуючих визначень поняття "сумісність" є те, що в них не враховується взаємний вплив дій військ (сил), який за певних умов може набувати важливого значення для досягнення загальної мети операції (бою, бойових дій). Відомо, що взаємний вплив суб'єктів один на одного може бути як позитивним, так і негативним. У зв'язку із цим, для двох суб'єктів можна визначити два протилежні види взаємного впливу – протидію та взаємодію.

Основною метою взаємодії військ (сил) є: раціональне використання бойових можливостей військ (сил), що взаємодіють, та забезпечення безпеки військ (сил), які залучаються до вирішення завдань. Змістовна частина видів взаємодії безпосередньо визначається особливостями суб'єктів взаємодії.

Зокрема, до тактико-вогневих підрозділів ППО можуть належати вогневі засоби, які є на озброєнні у збройних формуваннях та інших правоохоронних органах, антидронові сітки, протикумулятивні решітки та інші комерційні засоби.

До тактико-спеціальних підрозділів РЕБ можуть належати засоби радіоелектронної боротьби, засоби радіоелектронного придушення, антидронові рушниці та інші засоби на фізичних принципах роботи.

Однак, незважаючи на достатньо велику кількість наукових праць, питання щодо їхньої взаємодії під час вирішення завдань сил ППО, особливо в її прикладній частині, повною мірою не розкрито.

Розглянемо загальні питання, що стосуються застосування ППО проти літальних апаратів, які можуть здійснювати терористичні дії з повітря, зокрема БпЛА. Завдання ППО виконуються шляхом повітряного захисту, який здійснюється за певним планом, узгодженим за метою, завданням, місцем та часом і спрямований на знешкодження БпЛА та протидію їхньому впливу по об'єктах захисту, або примушення його до відмови виконувати визначені завдання.

Основні складові сил ППО об'єкта: безпосередньо фізичний вплив на літальні апарати та маневр (зміна місця розміщення) ППО та засобів РЕБ. Повітряний захист об'єкта розпочинається з моменту виявлення або отримання інформації про появу БпЛА і закінчується його знешкодженням або припиненням впливу на нього.

Основні характеристики ППО об'єкта: тривалість та кількість БпЛА, що були знешкоджені. Засоби ППО залежно від обстановки та завдань, що ними виконуються, можуть розміщуватись безпосередньо на місцевості, транспортних засобах, будівлях тощо. Місця їх розміщення мають відповідати завданню, рівню об'єкта, що захищається, очікуваному впливу БпЛА та забезпечувати: а) зосередження основних зусиль на збереженні СВО; б) найбільш повне використання можливостей зі знешкодження БпЛА; в) безперервність та зручність управління; г) безперервну взаємодію з іншими засобами, залученими до захисту СВО; д) швидке їх переміщення.

Для виконання завдань засобами ППО призначається, як правило, не менше 3 місць для розміщення (Лезік О. В., Піскунов С. М., Волков А. Ф., Седзюх В. В., 2017). Загальні місця розміщення мають відповідати вимогам, зокрема: а) забезпечувати круговий огляд при кутах

закриття у відповідальному секторі не більш ніж 0,5°; б) мати хорошу видимість на місцевості на відстані не менше 1 000 м від них; в) мати зручні під'їзні шляхи, які дозволяють швидко займати свої місця на місцевості тощо.

Якщо йдеться про застосування засобів, що можуть знешкоджувати БпЛА, тоді доцільно сказати і про систему заходів, яких необхідно вжити для захисту СВО від терористичних дій з повітря, а саме: на час проведення заходів із захисту СВО всі польоти літальних апаратів над об'єктом потрібно заборонити; літальні апарати або їхні уламки, у межах зони знешкодження засобами ППО, не повинні впасти на територію СВО; для розміщення засобів ППО необхідно мати заздалегідь обладнані місця вздовж усієї зони (периметра), яка призначена для захисту, або – на найбільш загрозливих напрямках; перед ухваленням рішення щодо організації захисту СВО від терористичних дій або нападу з повітря слід провести оцінювання розмірів СВО та місцевості навколо нього. Зокрема, оцінювання СВО має передбачати вивчення його характеру і геометричних розмірів, важливості його елементів, уразливості, прихованості. У результаті оцінювання СВО визначають найбільш імовірні способи дій БпЛА, напрямки зосередження зусиль, порядок і способи СВО та його елементів. Водночас, оцінювання місцевості визначає її загальний характер і вплив на можливі дії БпЛА, умови їх виявлення, особливо на малих та гранично малих висотах, наявність і стан доріг поблизу тощо.

У кожному конкретному випадку ці чинники потрібно враховувати під час побудови системи захисту СВО від дій з повітря. Вибір місць розташування на місцевості засобів ППО обумовлено значною кількістю умов та обмежень. Зокрема, кількість місць для їх розміщення визначається таким чином:

$$n = \left| \frac{\mathrm{L}}{d} \right|, \quad (1)$$

де L – довжина зони (периметра), яка призначена для захисту;
d – відстань між місцями розміщення засобів ППО.

Для захисту СВО від терористичних дій з повітря може бути організовано чергування сил ППО. Для виконання завдань доцільно скласти графік чергування цих засобів. Розроблення графіка чергування вирішить проблеми регламентації роботи різних засобів ППО, допоможе зберегти ресурс та дозволить постійно володіти інформацією про обстановку, що складається навколо СВО.

Варто розробити методику вибору місця розміщення засобів ППО під час захисту СВО від БпЛА (рис. 1), яка складається з процедур і задач, що виконуються послідовно, в результаті розв'язання яких формуються пропозиції щодо вибору місць розміщення засобів ППО (Shincaruk O. N., Kyrylenko V. A., Babii Y. A., Polishchuk V. V., Babaryka A. O., Chukanov A. I., 2020; Babii Yu., Chesanovskyi I., Levchunets D., 2016).

Початковими даними для розрахунку відстані між засобами ППО (блок 1) є:
– типи БпЛА, що можуть застосовуватись по СВО;
– географічні координати СВО та їхні просторові розміри;
– склад засобів ППО, що виділяються для захисту СВО;
– максимальна ефективність використання засобів ППО.

Початкові дані обираються з підготовлених баз даних, які формуються заздалегідь або в процесі підготовки рішення (блок 1).

У блоці 2 здійснюється розрахунок області падіння уламків БпЛА після його знешкодження. Для виконання цього завдання використовується існуюча модель (Сухаревський О. І., 2014).

Розрахунок області падіння уламків БпЛА здійснюється з метою визначення необхідної відстані виносу місць розміщення засобів ППО ($d_{в.ППО}$) від периметра СВО. Аналіз результатів моделювання знешкодження БпЛА на всіх імовірно можливих швидкостях та

висотах польоту показав, що відстань виносу місць розміщення має лежати в межах від 1 до 2 км від СВО.

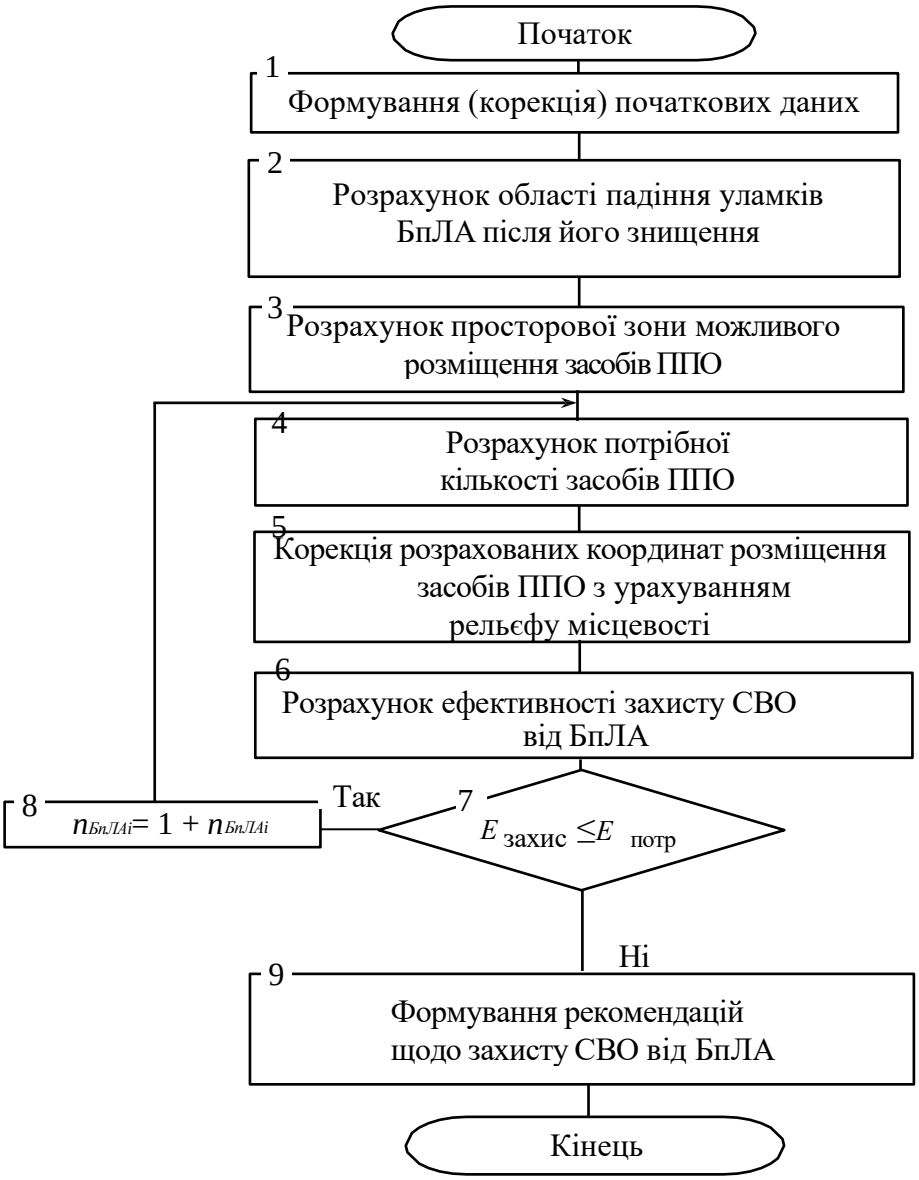


Рисунок 1. Структурно-логічна схема методичного підходу до вибору місця розташування засобів ППО під час захисту СВО від БпЛА

Серед рубежів, що обумовлюють роботу засобів ППО, найважливіше місце посідає дальність до БпЛА від СВО, за якої має бути поставлена задача на його знешкодження. Ця дальність залежить від того, якому засобу ППО ставиться задача, від висоти польоту БпЛА зони знешкодження за межі СВО. Горизонтальна дальність від СВО до рубежів поставлення завдань зі знешкодження БпЛА визначається виразами:

$$d_{р.п.з} = d_{в.ППО} + V_{БпЛА} (t_{без.під.ППО} + t_{знеш.БпЛА}), \quad (2)$$

де $d_{р.п.з}$ – горизонтальна дальність від СВО до рубежа поставлення завдань;
$d_{в.ППО}$ – дальність виносу місця розміщення засобів ППО від СВО;
$V_{БпЛА}$ – швидкість БпЛА;
$t_{без.під.ППО}$ – час безпосередньої підготовки засобів ППО до знешкодження БпЛА;
$t_{знеш.БпЛА}$ – час на знешкодження БпЛА на границі зони знешкодження.

У блоці 3 здійснюється розрахунок просторової зони можливого розміщення засобів ППО. Уламки БпЛА не повинні впасти на СВО, тому знешкодження БпЛА слід здійснювати в середньому (залежно від типу БпЛА) на відстані від 2 км і більше від СВО.

Зокрема, місця розміщення засобів ППО потрібно виносити за територію СВО на відстань від 1 км і більше. Чим більшою є відстань виносу місця розміщення засобів ППО, тим більше зростає імовірність збереження СВО. З іншого боку, чим більшою є відстань місця розміщення засобів ППО від СВО, тим більше засобів слід залучити для його надійного захисту. На практиці кількість засобів ППО, що можуть виконувати завдання, обмежена (Городнов В. П., 1987).

Тому необхідно місця розміщення засобів ППО розміщувати максимально близько до СВО, беручи до уваги їхні характеристики та кількість засобів ППО, що виділені для захисту СВО. Після отримання значення необхідної відстані виносу місця розміщення засобів ППО за межі СВО здійснюється розрахунок необхідної їхньої кількості (блок 4).

Подальшим кроком є реалізація алгоритму корекції розрахованих координат розміщення засобів ППО на основі аналізу цифрової карти місцевості (блок 5). Якщо рельєф або характер місцевості створюють перешкоди для розміщення засобів ППО, тоді здійснюється корекція місць їхнього розміщення. Реалізується програма відображення ЗРВ відповідно до запропонованих місць розміщення на електронній карті. Для більш детального та якісного оцінювання розміщення засобів ППО у блоці 6 реалізовано алгоритм оцінювання ступеня захисту СВО від БпЛА. Оцінювання ступеня захисту СВО виконується у вигляді розрахункової таблиці з наведенням коефіцієнтів перекриття зон знешкодження та коефіцієнтів навантаження засобів ППО. Використовуючи цю інформацію (блоки 7–9), ухвалюють остаточне рішення щодо місць розміщення засобів ППО.

Для оцінювання впливу сумісності засобів ППО та РЕБ на ефективність їхніх дій необхідно розглянути зміст поняття “сумісність”, а також логічно пов’язати поняття і терміни, що належать до поняття “сумісність засобів ППО та РЕБ” (Лезік В. О., 2015).

При цьому термінологічна система та її елементи (терміни) повинні мати визначені властивості, які пред’являються до неї:

1. Системна обумовленість термінів, їхня взаємозалежність, підлеглість за визначеною ознакою.
2. Однозначність в межах військово-наукових і загальнонаукових дисциплін.
3. Точність терміна, що не залежить від контексту.
4. Співвіднесення терміна лише з одним поняттям.
5. Короткість терміна і лексикографічний підхід до створення термінів.
6. Здібність термінології до розширення, уточнення та змін, можливість переходу терміна до позначення родового поняття.

З огляду на перелічені вимоги до термінології та аналізу існуючих основних спеціальних термінів, під “зоною сумісних дій засобів ППО та РЕБ” мають на увазі територію, де вони розміщуються, та повітряний простір, де здійснюється знешкодження і радіоелектронне придушення БпЛА (рис. 2).

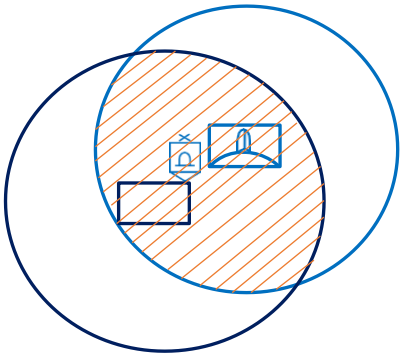


Рисунок 2. Зона сумісних дій засобів ППО та РЕБ (позначено штрихпунктиром)

Таким чином, застосування всіх можливостей, які стосуються використання засобів у зоні сумісних дій, доцільно розглядати як сукупність чотирьох складових частин:

1. “Інформаційна сумісність засобів ППО та РЕБ” – як здатність проведення узгоджених одночасних дій цих засобів у зоні сумісного чергування.

2. “Сумісність щодо умовного знешкодження БпЛА засобами ППО та РЕБ” – як здатність до узгоджених дій по БпЛА в зоні сумісних дій засобів ППО та РЕБ (Лезік В. О., 2015).

3. “Електромагнітна сумісність ефективного використання засобів ППО та РЕБ” – як здатність радіоелектронних засобів одночасно функціонувати в реальних умовах експлуатації з потрібною якістю у разі впливу на них ненавмисних радіоперешкод та не створювати неприпустимих радіоперешкод іншим засобам.

4. “Сумісність зі здійснення ефективної зміни місць розміщення засобів ППО та РЕБ” – як здатність одночасного згортання, здійснення переміщення з урахуванням прохідності засобів та розміщення на новому місці.

Результати (Results)

Оцінювання ефективності сумісних дій засобів ППО та РЕБ у складі спеціальних засобів призначене для вирішення поставленого наукового завдання, досягнення мети дослідження і передбачає:

– вибір і обґрунтування показників ефективності використання засобів ППО та РЕБ;

– дослідження залежності ефективності сумісних дій засобів ППО та РЕБ від формалізованих показників альтернативних варіантів застосування засобів ППО.

Показник якості результату (ефективності) дій під час захисту СВО в загальному випадку є m-мірним вектором, що включає три групи компонентів: досягнутий (очікуваний) ефект (g), витрати часу (t) і витрати ресурсів (с), та описується виразом:

$$Y^m = [g^m, c^m, t^m], \tag{3}$$

Y^m – ефективність дій під час захисту СВО;

m – чинники і умови, що визначають ефективність дій під час захисту СВО;

g^m – досягнутий (або очікуваний) корисний ефект;

c^m – витрати ресурсів;

t^m – витрати часу.

Розглянемо шляхи підвищення ефективності захисту СВО від БпЛА за допомогою сумісного застосування засобів ППО та РЕБ.

У загальному плані наукове завдання дослідження сумісних дій засобів ППО та РЕБ в зоні захисту СВО є багатоваріантним. Кількість варіантів ($n_{вар}$) залежить від кількості та типів цих засобів і може бути визначена за співвідношенням:

$$n_{вар} = \left(N_{ППО i}+1\right)\left(N_{ППО j}+1\right)\left(N_{ст.ш.п}+1\right)\left(N_{ст.від.-імп.п}+1\right), \tag{4}$$

де $N_{ППО i}$ – кількість засобів ППО *i-го* типу;

$N_{ППО j}$ – кількість засобів ППО *j-го* типу;

$N_{ст.ш.п}$ – кількість станцій шумових радіоперешкод;

$N_{ст.від.-імп.п}$ – кількість станцій відповідь-імпульсних радіоперешкод.

Склад засобів ППО та РЕБ і порядок їх розміщення взаємообумовлені й тісно взаємозалежні. Цей взаємозв’язок спричинений, з одного боку, методичними підходами до обґрунтування оптимального кількісного складу через необхідний порядок їх розміщення, з

іншого боку, – тим, що будь-який склад засобів має бути розміщений стосовно об'єкта захисту раціональним чином (Лезік О. В., Рязанцев С. С., Книш Д. В., 2015).

Ефективність сумісних дій залежить як від складу засобів, так і від порядку їх розміщення, параметрами якого є дальність місць розміщення засобів ППО ($d_{розм.ППО}$) та РЕБ ($d_{розм.РЕБ}$) від границь СВО та взаємні відстані між засобами захисту ($D_{ППО\text{-}РЕБ}$, $D_{ППОi}$, $D_{РЕБi}$).

Таким чином, виходить досить складний характер залежності ефективності дій засобів ППО та РЕБ, яку можна представити у вигляді функціональної залежності:

$$\begin{aligned} E = f\{N_{ППО}\} \ \big| N_{ППО},\ d_{розм.ППО}, d_{розм.РЕБ}, D_{ППОi}, D_{РЕБi}, D_{ППО\text{-}РЕБ} \big| = \text{const.} \\ E = f\{N_{РЕБ}\} \big| \ N_{ППО},\ d_{розм.РЕБ}, d_{розм.ППО},\ D_{РЕБi}, D_{ППОi}, D_{ППО\text{-}РЕБ} \ \big| = \text{const.} \end{aligned} \quad (4)$$

Місця розміщення засобів ППО та РЕБ підпорядковуються вимогам завдання, тобто місця розміщення засобів ППО мають знаходитись на такій відстані від границь СВО, за якої забезпечується винос зони знешкодження засобу за рубіж, з якого можливе здійснення нападу БпЛА. Для оцінювання впливу максимальної ефективності використання засобів ППО та РЕБ на ефективність їхніх сумісних дій повернемось до сутності терміна "сумісність".

Під "зоною сумісних дій ефективного використання засобів ППО та РЕБ" мають на увазі територію, на якій вони розміщуються та на якій здійснюється знешкодження і радіоелектронне придушення БпЛА.

Найбільш адекватним цільовому призначенню засобів ППО під час захисту СВО від БпЛА є показник кількості знешкоджених БпЛА від загальної кількості БпЛА, що були задіяні в нападі. Зокрема, що стосується вибору показників співвідношення сил оборони, якнайповніше протиборство засобів ППО і БпЛА може відображати співвідношення:

$$\partial_i = \frac{N_{max БпЛАзППОi} \times \left|1-(1-P_{знеш.БпЛАзППОi})^n \times K_{е.і.з} \times N_{ППОi}\right|}{D_{г.п.з.знеш\ ППОi} \times N_{БпЛА}} = \frac{K_{б.п.ППОi}}{N_{БпЛА}}, \quad (5)$$

де $N_{maxБпЛАзППОi}$ – максимальна кількість БпЛА, що одночасно знешкоджуються засобами ППО *і-го* типу;

$P_{знеш.БпЛАзППОi}$ – імовірність знешкодження БпЛА засобами ППО *і-го* типу;

n – кількість ракет (ресурсів), використаних на знешкодження БпЛА;

$K_{е.і.з}$ – коефіцієнт ефективності інформаційного забезпечення;

$N_{ППОi}$ – кількість засобів ППО *і-го* типу;

$D_{г.п.з.знеш\ ППОi}$ – граничний параметр зони знешкодження засобами ППО *і-го* типу;

$N_{БпЛА}$ – кількість БпЛА в ударі на СВО;

$K_{б.п.ППОi}$ – коефіцієнт бойового потенціалу засобів ППО *і-го* типу.

Звідки $K_{е.і.з}$ коефіцієнт ефективності інформаційного забезпечення визначається за виразом:

$$K_{е.і.з} = \frac{K_{под.пом.м.р.} \times K_{маск}\ (1+N_{\Sigma с.зах})N_{\Sigma с.зах}}{t_{переб.ППО}\ (1-t_{з.і})}, \quad (6)$$

де $K_{под.пом.м.р.}$ – коефіцієнт подібності помилкових місць розміщення істинним;

$K_{маск}$ – коефіцієнт маскування СВО;

$N_{\Sigma с.зах}$ – сумарна кількість сил і засобів захисту (ППО та РЕБ) СВО від БпЛА, які виконують заходи з дезінформації;

$N_{\Sigma і.з}$ – сумарна кількість інформаційних засобів у складі засобів ППО та РЕБ захисту СВО від БпЛА, інформаційних потоків, що беруть участь у процесі збирання;

$t_{переб.ППО}$ – час перебування засобів ППО на місці розташування;

$t_{з.і}$ – час збирання інформації.

Знищення БпЛА під час захисту СВО з повітря розглядається як імовірнісний процес, що характеризується, в першу чергу, співвідношенням сил сторін. Для оцінювання ефективного використання засобів РЕБ щодо захисту СВО застосовують математичне сподівання числа БпЛА, на які здійснено радіоелектронний вплив (придушення) засобами РЕБ ($M_{БпЛАприд.ЗРЕБ}$):

$$M_{БпЛАприд.ЗРЕБ} = N_{БпЛАприд.} \times \Delta P_{збер.СВО}, \quad (7)$$

де $N_{БпЛАприд.}$ – кількість БпЛА, на які здійснено радіоелектронний вплив (придушення);
$\Delta P_{збер.СВО}$ – приріст імовірності збереження СВО, який дорівнює імовірності умовного знешкодження БпЛА, що визначається залежністю числа умовно знешкоджених БпЛА та розраховується за формулою:

$$\Delta P_{збер.СВО} = P_{з.об}^{П} - P_{з.об}^{в}, \quad (8)$$

де $P_{з.об}^{П}$ – імовірність збереження СВО в умовах протидії засобам РЕБ;
$P_{з.об}^{в}$ – імовірність збереження СВО за відсутності протидії засобам РЕБ.

Для випадку захисту СВО тільки засобами РЕБ вираз (8) можна перетворити до вигляду:

$$P_{ЗРЕБ} = 1 - e^{-N_{л.а.}ЗРЕБ\Delta P_{з.об}/N_{л.а.}}, \quad (9)$$

де $P_{ЗРЕБ}$ – імовірність збереження СВО тільки засобами РЕБ;
$N_{л.а.}ЗРЕБ$ – кількість БпЛА засобів РЕБ;
$N_{л.а.}$ – кількість БпЛА.

Аналіз співвідношень показує, що під час оцінювання ефективності сумісних дій враховуються тільки можливості засобів ППО або можливості засобів РЕБ за фіксованої кількості БпЛА, що беруть участь у нападі на СВО (Лезік О. В., Рязанцев С. С., Книш Д. В., 2015). Тому, внаслідок цієї властивості, для проведення дослідження пропонується перетворити залежність до вигляду, що дозволяє визначити показник ефективності сумісних дій:

$$P_i = 1 - e^{-\left(\frac{M_{знищ.БпЛАППО}}{N_{л.а.}} + K_{сум}\frac{M_{приД.БпЛАРЕБ}}{N_{л.а.}} + K_{р.м.}\frac{M_{знищ.БпЛАм.в.}}{N_{л.а.}}\right)}, \quad (10)$$

де $M_{знищ.БпЛАППО}$ – математичне сподівання числа знищених БпЛА засобами ППО;
$K_{сум}$ – коефіцієнт сумісності засобів ППО та РЕБ;
$M_{приД.БпЛАРЕБ}$ – математичне сподівання числа знищених БпЛА засобами РЕБ;
$K_{р.м.}$ – коефіцієнт реалізації можливостей;
$M_{знищ.БпЛАм.в.}$ – математичне сподівання числа знищених БпЛА на малих висотах.

Рисунок 3. Математична модель оцінювання ефективності захисту СВО від БпЛА силами ППО

За результатами аналізу можна зробити висновок, що для оцінювання ефективності сумісних дій підрозділів ППО і РЕБ вибрано узагальнений показник у вигляді математичного сподівання числа засобів (БпЛА) повітряного нападу, які не виконали

бойове завдання, визначений у відносній величині (P_i) та розрахований за формулою (10). За значенням цього показника можна оцінити результати бойових дій підрозділів ППО та РЕБ, які очікуються, рівень втрат засобів повітряного нападу (БпЛА) та ступінь виконання ними бойових завдань. Для розгортання варіанта бойового складу підрозділу ППО в бойовий порядок було використано методичний прийом спрямованого перебору можливих варіантів бойового складу підрозділу ППО в рамках існуючої організаційно-штатної структури, з умовним розгортанням підрозділу ППО в бойовий порядок на фіксованих відстанях між "парами" (зенітна ракетна батарея – підрозділ РЕБ) відносно СВО (Лезік О. В., Рязанцев С. С., Книш Д. В., 2015). Для реалізації цього прийому скористаємося співвідношенням:

$$D_{ППО-ЗРЕБmin} = a \times J, \tag{11}$$

де $D_{\text{ППО}-\text{ЗРЕБ}min}$ – мінімальна дальність засобів ППО і РЕБ від центра СВО, за якої їхня задана кількість розташується рівномірно на інтервалах J;

а – множник рівномірності.

Для засобів ППО та РЕБ стосовно один одного й СВО скористаємося співвідношенням:

$$D_{\text{ППО}-\text{ЗРЕБ}min} = D_{\text{вияв}} \leq 0{,}65 D_{\text{відб.боєпр.}min}, \tag{12}$$

де $D_{\text{вияв}}$ – дальність виявлення;

$D_{\text{відб.боєпр.}min}$ – мінімальна дальність відбиття боєприпасу, яка визначається з виразу:

$$D_{\text{відб.боєпр.}min} = V_{\text{БпЛА}} T_{\text{падіння боєпр.}} - \Delta + V_{\text{БпЛА}} T_{\text{знищ.БпЛА}}, \tag{13}$$

де $V_{\text{БпЛА}}$ – швидкість БпЛА, км/хв;

$T_{падіння\ боєпр.}$ – час падіння боєприпасу, що використовує БпЛА, хв (або час падіння БпЛА типу "Shahed-136/139", хв);

Δ – відставання боєприпасу, що використовує БпЛА, км;

$T_{знищ.БпЛА}$ – час знищення БпЛА.

Для того, щоб СВО був захищений засобами РЕБ, необхідно розміщувати засоби радіоелектронного захисту на відстані $D_{\text{РЕБ}}$, яка має бути менше $D_{\text{ППО}-\text{РЕБ}min}$ або, у кращому випадку, дорівнювати нулю. Водночас, зменшення виносу місць розміщення засобів РЕБ ($D_{РЕБ}$) обмежується можливістю знищення СВО у разі застосування зброї, яка самонаводиться на випромінювання РЕБ. Умова, що визначає мінімальне та одночасно оптимальне значення $D_{РЕБ}$, має такий вигляд:

$$D_{РЕБ} \geq D_{ураж.боєпр.} + d_{\text{СВО}} + 3\sigma_{\text{збр.}}, \tag{14}$$

де $D_{ураж.боєпр.}$ – радіус ураження боєприпасами СВО;

$d_{\text{СВО}}$ – радіус СВО;

$\sigma_{\text{збр.}}$ – середня квадратична помилка зброї, яка самонаводиться.

Задача розрахунків відстані між місцями розміщення засобів ППО під час захисту СВО від БПлА визначається шляхом вибору місць розміщення ППО у два етапи: розробляються пропозиції щодо розміщення засобів ППО відповідно до вимог керівних документів та практики організації захисту СВО без урахування рельєфу місцевості (Лезік О. В., Рязанцев С. С., Книш Д. В., 2015); здійснюється корекція координат розміщення засобів ППО з урахуванням рельєфу та характеру місцевості, розташування місцевих предметів, що

впливають на ефективність застосування сил ППО зі знешкодження БпЛА, використовуючи можливості цифрових карт цієї місцевості.

Обговорення (Discussions)

Проведений аналіз показав, що необхідно мати заздалегідь обладнані місця розміщення засобів ППО та РЕБ уздовж усієї зони (периметра), яка призначена для збереження, або – на найбільш важливих напрямках. У кожному конкретному випадку ці фактори слід враховувати під час побудови системи захисту СВО від БпЛА. Розроблені пропозиції були опрацьовані в комплексній моделі оцінювання ефективності дій засобів ППО (Єрмошин М. О., 2004; Волков А. Ф., Яненко О. А., Кравченко С. А., 2019).

Висновки (Conclusion)

Використовуючи запропоновану методику вибору місця розміщення засобів ППО та РЕБ під час захисту СВО від терористичних дій БпЛА, можна розробити такі пропозиції, використання яких дозволить забезпечити високий ступінь захищеності СВО. Для оцінювання ефективності сумісних дій засобів ППО і РЕБ вибрано узагальнений показник у вигляді математичного сподівання числа БпЛА, які не виконали бойове завдання, визначений у відносній величині (W_i), за значенням якого можна оцінити результати дій засобів ППО і РЕБ, рівень втрат БпЛА та ступінь виконання ними завдань.

Рекомендації (Recommendations)

Матеріали статті становлять практичну цінність для органів управління, які під час планування застосування військ (сил) виконують розрахунки з визначення потрібної кількості засобів захисту від БпЛА. Подальші дослідження у цьому напрямі будуть спрямовані на розроблення цілісної методики оцінювання ефективності дій сил ППО, зокрема здійснення моделювання, яке дозволить отримати оцінки імовірності збереження СВО у разі терористичних дій з повітря типовими БпЛА на різних висотах (БпЛА типу “Shahed-136/139”, БпЛА типу “Орлан-10”, FPV тощо).

Використані джерела (References)

1. Zaluzhnyi, V. F., Moisiuk, E. G., & Shaptala, S. O. (2022). *TKP 7-000 (162) 01.01. Collection no. 1 of materials for studying the combat experience of the russian-Ukrainian war of 2022.* Doctrine and Training Department of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine. Scientific and research institutions of the Armed Forces of Ukraine.
2. Zaluzhnyi, V. F., Moisiuk, E. G., & Shaptala, S. O. (2022). *TKP 7-000 (162) 01.02. Collection no. 2 of materials for studying the combat experience of the russian-Ukrainian war of 2022.* Doctrine and Training Department of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine. Scientific and research institutions of the Armed Forces of Ukraine.
3. Zaluzhnyi, V. F., Moisiuk, E. H., & Shaptala, S. O. (2022). *TKP 7-000 (162) 01.03. Collection no. 3 of materials for studying the combat experience of the russian-Ukrainian war of 2022.* Doctrine and Training Department of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine. Scientific and research institutions of the Armed Forces of Ukraine.
4. Synyshyn, M. M., Demchyshyn, V. S., Karasyov, D. L., Grinchenko, V. V., Babiy, Yu. O., & Miroshnichenko, O. V. (2023). Analysis of the features of the use of unmanned aircraft by the armed forces of the russian federation during a full-scale armed invasion. *Collection of scientific works of the Military Institute of Taras Shevchenko Kyiv National University,* 78, 18–25.
5. Volkov, A. F., Yanenko, O. A., & Kravchenko, O. A. (2019). Criteria for evaluating the effectiveness of the organization of interaction during the air defense of troops. *Collection of scientific works of the KhNUPS, 3* (61), 7–11.

6. Lezik, A. V., Oriekhov, S. V., & Kosenko, G. P. (2015). Analysis of compatibility of tactical and fire subunits of air de-fense and tactical and special units of the REB during ATO. *Science and Technology of the Air Force of Ukraine, 3* (20), 58–61.
7. Drobakha, H. A., Henov, B. A., & Zubrytskyi, H. M. (2014). Interaction of tactical fire units of anti-aircraft missile forces and air defense of ground forces when solving air defense tasks. *Science and Technology of the Air Force of Ukraine, 1* (14), 90–93.
8. Lezik, A. V., Ryazantzev, S. S., & Knysh D. V. (2015). Development of proposals for rational combat application of compatible operations of air defense units and EWR during ATO. *Science and Technology of the Air Force of Ukraine, 4* (21), 18–21.
9. Lytvyn, M. M., Allerov, Yu. V., & Kyrychenko, I. V. (2003). The essence, regularities and principles of interaction of troops (forces). *Chest i zakon, 4*, 9–15.
10. Lezik, O. V., Piskunov, S. M., Volkov, A. F., & Sedziukh, V. V. (2017). The main provisions of the method of building the order of battle of anti-aircraft weapons when covering explosive objects. *Science and Technology of the Air Force of Ukraine, 4* (29), 41–47.
11. Shincaruk, O. N., Kyrylenko, V. A., Babii, Y. A., Polishchuk, V. V., Babaryka, A. O., & Chukanov, A. I. (2020). Mathematical model of complex radio-location portrait of aim with a final number of bright points. *Visnyk NTUU "KPI". Serie: Radioengineering, radio equipment, 80*, 23–30.
12. Babii, Yu., Chesanovskyi, I., & Levchunets, D. (2016). Application of non-stationary signals matched windowing in pulse radiolocation tasks. *TCSET-2016: 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science,* 292–294. DOI**:** 10.1109/TCSET.2016.7452038
13. Sukharevsky, O. I., Vasilets, V. A., & Riapolov, I. Ye. (2017). Scattering characteristic of Mi-8MT helicopter based onmeasured of object scale model in an anechoic chamber. *Information Processing Systems,* 1 (147), 109–114. DOI: https://doi.org/10.30748/soi.2017.147.20
14. Gorodnov, V. P. (1987). *Simulation ofcombat operation of units, formations of air defense forces.*
15. Yermoshyn, M. O., & Drobakha, G. A. (2004). Estimation of the effectiveness of combat operations of anti-aircraft missile troops.