

Д. А. Іщенко, Д. Л. Федорчук, С. Д. Іщенко, Л. М. Марищук

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ ДЛЯ ПРОТИДІЇ ВИСОКОТОЧНИЙ ЗБРОЇ ЯК СКЛАДОВОЇ ОПЕРАЦІЇ В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ СПЕКТРІ

Наявність у противника значної кількості ударних систем високоточної зброї зумовлює нагальну потребу створення ефективних систем захисту інфраструктурних і військових об'єктів. Одним з елементів таких систем можуть стати сили та засоби радіоелектронної боротьби, які дозволять проводити захисні дії в електромагнітному спектрі.

Але в теперішніх умовах ресурсних та часових обмежень залучення до таких систем захисту засобів радіоелектронної боротьби є певною науково-практичною проблемою, що потребує вирішення, зокрема через визначення прогнозованої ефективності їх функціонування в системі захисту об'єктів.

У статті запропоновано підхід, згідно з яким дії високоточної зброї у процесі її наведення на об'єкти та відповідні заходи систем захисту, що вживаються на супротив, розглядаються як антагоністичні, оскільки вони виконуються як з використанням передавальних і приймальних радіоелектронних засобів високоточної зброї, так і засобів радіоелектронної боротьби систем захисту. Застосування засобів радіоелектронної боротьби в операції в електромагнітному спектрі з метою протидії високоточній зброї досліджується як складова операції в електромагнітному спектрі. Для проведення дослідження розглянуто тактичний бойовий епізод, у якому прийняті припущення й обмеження не викривляють змісту та фізичної сутності процесів радіоелектронної боротьби з високоточною зброєю.

Запропоновано оцінювання радіоелектронної боротьби здійснювати за ймовірнісним показником дезорганізації системи наведення високоточної зброї. Показано, що відповідно до прийнятих умов, показник стосується радіоподавлення супутникових систем навігації.

Запропонований показник може характеризувати застосування сил і засобів радіоелектронної боротьби в системах захисту від високоточної зброї, оскільки він залежить:

від технічних характеристик зразків високоточної зброї (опосередковано визначає перешкодозахищеність радіолінії їх систем наведення);

від спроможностей сил і засобів радіоелектронної боротьби з високоточною зброєю.

Показано, що ефективність застосування засобів радіоподавлення в операції в електромагнітному спектрі обмежена ймовірністю успішного наведення керованих засобів ураження, яка забезпечується характеристиками їх інерціальної системи.

Ключові слова: високоточна зброя; операція в електромагнітному спектрі; радіоелектронна боротьба; системи наведення.

© Д. А. Іщенко, Д. Л. Федорчук, С. Д. Іщенко, Л. М. Марищук, 2022

Постановка проблеми в загальному вигляді. Розвиток основних складових систем озброєння базується на загальносвітових тенденціях удосконалення озброєння та військової (спеціальної) техніки, зокрема розвитку сучасних систем і засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ), протидії технічним розвідкам і високоточній зброї (ВТЗ) противника.

Досвід російсько-української війни одночасно підтверджує доцільність вогневого ураження (ВУ) противника засобами ВТЗ та складність захисту від керованих засобів ураження (КЗУ) комплексів ВТЗ позицій військ (сил), а також військових, інфраструктурних, енергетичних об'єктів у глибокому тилу.

Розвідувальне забезпечення планування та навігаційної (геоінформаційної) підтримки бойових дій для завдання ударів ракетами та безпілотними літальними апаратами (БпЛА) по об'єктах держави поза зоною ведення активних бойових дій противник здійснює з використанням даних космічної, повітряної, морської та наземної розвідок, а також даних систем навігації, зокрема супутникової.

Як елемент розвідки та корегування вогню зазвичай застосовують безпілотні авіаційні комплекси (БпАК). Крім того, сучасні розвідувально-ударні БпАК набувають властивостей комплексів ВТЗ за рахунок використання їх БпЛА як керованої ударної зброї (літаючих боєприпасів, «камікадзе») або носіїв таких КЗУ, зокрема із системами самонаведення (СН) різних видів (радіолокаційні, оптико-електронні) і типів (активні, напівактивні, пасивні).

Аналіз застосування комплексів ВТЗ рф під час ударів по державних об'єктах держави показав першочергову актуальність боротьби саме з КЗУ із СН. Для завдання ударів КЗУ із СН противник використовує комплекси ВТЗ, до складу яких входять БпАК, літаки та ракети військово-космічних сил, військово-морського флоту, сухопутних військ збройних сил рф. Комплекси ВТЗ противника повітряного, морського та наземного базування розташовуються в рф, рб і на тимчасово окупованих територіях України, в Автономній Республіці Крим й акваторіях морів. Віддалення районів базування носіїв (комплексів) ВТЗ рф і запуску КЗУ противника від місць розташування комплексів ракетних військ і артилерії України, аеродромів базування авіації та позицій зенітно-ракетних військ Повітряних Сил Збройних Сил (ЗС) України значно перевищує наявні спроможності, необхідні для їх ураження. Отже, на сьогоднішній день ураження носіїв (комплексів) ВТЗ рф до початку виконання противником запуску КЗУ вказаними силами та засобами є складним заданням через їх просторово-часові характеристики та співвідношення спроможностей, що потребує спеціальних дій.

За таких умов особливої актуальності набуває проблема захисту об'єктів у разі протидії ВТЗ під час польоту КЗУ до цілі. Досвід війни показує, що знищення КЗУ класу «повітря – поверхня» (БпЛА, крилатих, аеробалістичних ракет тощо) у польоті засобами класу «повітря – повітря» авіації та зенітними засобами «поверхня – повітря» сил протиповітряної оборони є найбільш результативним способом. Очевидно, що вирішення проблеми захисту лише в такий спосіб потребує значних витрат матеріальних ресурсів.

Наявність у противника значної кількості ударних систем ВТЗ із наведенням КЗУ автоматизованими системами зумовлює потребу створення ефективних систем захисту (СЗ) великої кількості інфраструктурних і військових об'єктів.

Створення СЗ об'єктів передбачає комплектування їх засобами активного впливу на елементи ВТЗ (ВУ) або їх маскування (приховування, імітацію) від систем ближнього наведення КЗУ з використанням засобів інженерної підтримки та РЕБ.

Побудова ударних систем ВТЗ на основі реалізації методів наведення з використанням випромінювання та приймання електромагнітних хвиль надає можливість проведення захисних дій в електромагнітному спектрі (ЕМС) силами та засобами РЕБ.

Застосування засобів РЕБ у СЗ об'єктів від ВТЗ не потребує значних витрат матеріальних ресурсів порівняно з авіаційними й зенітними засобами ураження, але за теперішніх ресурсних та часових обмежень рішення про їх використання потребує оцінювання прогнозованої ефективності щодо протидії ВТЗ.

Виникає потреба наукового обґрунтування змісту, розроблення складових, показників та критеріїв оцінювання ефективності РЕБ щодо протидії ВТЗ, оскільки запропоновані положення можуть бути враховані уповноваженими посадовими особами для прийняття своєчасних системних рішень на використання засобів РЕБ у СЗ об'єктів від ВТЗ.

Отже, оцінювання ефективності застосування засобів РЕБ для протидії ВТЗ є актуальним науково-практичним завданням, вирішення якого забезпечить підвищення ефективності Сил оборони України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, які є у вільному доступі, дозволяє зробити висновок про використання противником у сучасних комплексах (системах, зразках) ВТЗ повітряного та морського (наземного) базування систем наведення, що побудовані за принципами, достатньо повно викладеними авторами робіт [1, 2], це також підтверджується змістом видань рф [3, 4].

Проблемам розвитку ВТЗ, захисту від КЗУ, використанню методів РЕБ із СН в інтересах вирішення завдань захисту військових об'єктів присвячено роботи вітчизняних та закордонних авторів [5–9], де узагальнено досвід і запропоновано підходи до забезпечення захисту від ВТЗ. Науковці досить повно та всебічно розкрили результати теоретичних і практичних досліджень щодо створення, впровадження та застосування методів і засобів захисту від такої зброї. Результати, які висвітлено, необхідно використовувати з урахуванням їх певної невизначеності [9–11], обумовленої неповнотою / відсутністю відомостей про поведінкову та природну нестохастичність факторів протидії ВТЗ і параметрів досліджень, а також їх можливої суб'єктивної випадковості.

У публікації JP 3-85 [12] надано нормативні для ЗС США положення щодо операції в ЕМС, зміст яких є корисним для аналізу застосування засобів РЕБ з метою протидії ВТЗ.

У роботі [13] розглянуто питання комплексного застосування сил та засобів виявлення (розвідки), ураження та подавлення КЗУ на прикладі протидії розвідувально-ударним БпАК у складі СЗ інфраструктурних і військових об'єктів.

Проте результати вирішення завдання оцінювання ефективності застосування засобів РЕБ в операції в ЕМС для протидії ВТЗ у прямій постановці питання не відображено.

Наявність суб'єктивних факторів у зазначених підходах, пов'язана з низкою суперечностей і неоднозначностей, стримує процес досліджень проблем розвитку та застосування сил і засобів РЕБ в інтересах захисту об'єктів і військ (сил) від ВТЗ.

Формулювання завдання дослідження. За умов наявності в противника значної кількості різного класу ударних систем із СН, радіоелектронні засоби яких функціонують із використанням ЕМС, нагальною є потреба актуалізації методологічного та понятійного апарату РЕБ із ВТЗ щодо категорій «операцій в ЕМС» [12]. Вирішення такої потреби надає можливість розроблення підходу до оцінювання ефективності застосування засобів РЕБ в операції в ЕМС з метою протидії ВТЗ.

Запропоноване завдання є актуальним, оскільки його вирішення дозволить систематизувати знання в зазначеній предметній галузі та створити передумови для переходу на більш високий якісний рівень практичного використання результатів теоретичних досліджень розвитку СЗ від ВТЗ, застосування засобів РЕБ із ВТЗ противника.

У практичній площині оцінювання ефективності застосування засобів РЕБ в операції в ЕМС з метою протидії ВТЗ дозволяє обирати більш якісні варіанти для групового або індивідуального захисту об'єктів військових або інфраструктури.

Виклад основного матеріалу. У статті під терміном «об'єкт» розуміють: ділянки місцевості, будівлі, споруди, які постійно чи тимчасово використовуються з'єднанням, військовою частиною і підрозділом ЗС для виконання завдань або розміщення та укриття особового складу, зберігання бойової техніки або військового майна, військові транспортні засоби, озброєння та військова техніка, а також цивільні об'єкти (підприємства, організації, установи), які підлягають обороні (захисту й охороні) ЗС.

Для проведення дослідження оберемо об'єкт, що має елементи СЗ від ВТЗ противника.

СЗ – це формування військ або створена сукупність сил та засобів спеціальних військ (сил), які організаційно, технічно й функціонально об'єднують засоби: розвідки елементів ВТЗ противника, управління елементами СЗ, наведення, ВУ, радіоелектронного подавлення (РЕП), захисту (радіоелектронного, інженерного) та маскування (аерозольного, світлового) – у єдину систему.

Для оцінювання СЗ від ВТЗ із КЗУ, зокрема оснащеними головками самонаведення (ГСН) різних видів і типів, визначимо певні умови, припущення та обмеження, що не викривляють оперативно-тактичний зміст загального алгоритму їх застосування та не суперечать фізиці процесів, що супроводжують його реалізацію.

Умови для оцінювання комплексів ВТЗ та СЗ визначаються типовим бойовим епізодом, у якому формалізується ураження одним КЗУ одного об'єкта захисту (ОЗ).

Обстановка як сукупність умов та факторів природнього та штучного походження, за винятком фактора РЕБ із КЗУ з СН, впливають на ефективність ВТЗ та СЗ однаково позитивно або негативно.

Комплекси ВТЗ та СЗ оцінюють за ступенем досягнення кожним із них цілей власного призначення, які є антагоністичними:

ВТЗ – успішне застосування КЗУ, що забезпечує ураження ОЗ;

СЗ – нейтралізація [12] КЗУ, що гарантує неураження ОЗ.

За таких умов як показники для кількісних оцінок ефективності комплексів (систем) можна використовувати ймовірності успішного завершення процесів цільового застосування:

$$P_{CЗ} = 1 - P_{BTЗ}, \quad (1)$$

де $P_{CЗ}, P_{BTЗ}$ – імовірності успішного завершення процесів цільового застосування СЗ та ВТЗ відповідно.

Вважаємо:

дії ВТЗ противника щодо початку процесу ураження ОЗ у часі первинні до дій СЗ щодо його неураження;

протягом типового бойового епізоду виконується умова безвідмовної роботи технічних (програмно-технічних) засобів комплексів ВТЗ та СЗ;

за показники для кількісних оцінок ефективності ураження ОЗ можна прийняти ймовірність успішного завершення сукупності окремих етапів (технологічних процесів), передбачених алгоритмами, що мають імовірнісний характер;

результуюча ймовірність ураження одним КЗУ одного ОЗ залежить від завершення окремих етапів, що його реалізують.

За таких положень можна подати (1) у такому вигляді:

$$P_{CЗ} = 1 - P_{BTЗ} = 1 - P_{П} P_{H} P_{У}, \quad (2)$$

де $P_{П}; P_{H}; P_{У}$ – імовірності успішного завершення технологічних процесів застосування ВТЗ для ураження одним КЗУ одного ОЗ за етапами пуску, наведення та ураження відповідно.

Щодо оцінювання засобів РЕБ із системами управління КЗУ із СН за вкладом в ефективність СЗ об'єкта від ВТЗ вважаємо, що в епізоді, який розглядається, прийнятні такі положення.

По-перше, кількісні значення ймовірностей $P_{П}; P_{У}$ можна визнати стійкими (незалежними) до фактора РЕБ та штучних змін умов радіоелектронної обстановки за рахунок створення перешкод:

$P_{П}$ визначається правильністю завчасно (до початку епізоду, який розглядається) прийнятого противником рішенням щодо застосування комплексу ВТЗ за даними розвідки про ОЗ;

$P_{У}$ визначається (в епізоді, який розглядається) потужністю бойової частини КЗУ, а залежність точності її доставляння розглядається за складової P_{H} .

По-друге, кількісні значення ймовірностей $P_{CЗ}, P_{BTЗ}$ – імовірності успішного завершення процесів цільового застосування СЗ та ВТЗ відповідно – можна розглядати як $P_{РЕБ}, P_{H}$ – імовірності успішного завершення процесів цільового застосування засобу (засобів) РЕБ із системою наведення (управління) КЗУ та СН (управління) відповідно.

За таких положень можна перетворити (2):

$$P_{РЕБ} = 1 - P_{H}. \quad (3)$$

Фізика процесу наведення [1–4] КЗУ на ОЗ для різних класів комплексів ВТЗ має певні особливості залежно від прийнятих способів реалізації принципів функціонування

встановленої на борту СН конкретного типу: оптико-електронної (телевізійної, тепловізійної, лазерної); радіолокаційної (зокрема СН); інерційної (у тому числі з корекцією за даним радіонавігаційної системи); комбінованої. Для оцінювання засобів РЕП систем управління КЗУ із СН за вкладом в ефективність СЗ об'єкта від ВТЗ різних класів необхідним та доцільним є узагальнений підхід. Вважаємо, що в епізоді, який розглядається, прийнятні такі положення про склад системи управління щодо наведення КЗУ на ОЗ у загальному алгоритмі застосування ВТЗ: інерціальна навігаційна система; система корекції за рельєфом (портретом місцевості); приймач супутникової системи навігації (ССН).

Політ КЗУ – одна з форм механічного руху, у якому необхідно знати переміщення ракети відносно Землі й навколишнього середовища – повітря. Для його дослідження потрібне введення систем координат або систем підрахунку, що дозволять визначати положення КЗУ відносно Землі та повітря у кожний проміжок часу. Більшість задач динаміки польоту може бути розв'язано з використанням земної, траєкторної, швидкісної та зв'язаної систем координат. Це прямокутні системи координат. У них позитивні за знаком кути та кутові швидкості відповідають поворотам проти годинникової стрілки, якщо дивитися з кінця тієї осі координат, відносно якої розглядається поворот.

Загальний алгоритм застосування ВТЗ щодо наведення на ціль передбачає, що після запуску КЗУ рухається (дальнє наведення – $P_{ДН}$) у район із заданими координатами, де підключається пристрій СН (ближнє наведення – $P_{БН}$) на ціль, обрану для ВУ. Керованість забезпечується програмно-технічною реалізацією відповідно до виду руху (балістичного, аеробалістичного, аеродинамічного) КЗУ, методу управління (телеуправління, програмне керування, використанням ініціальної системи). Відповідність параметрів автономного руху КЗУ заданим параметрам забезпечується періодичною корекцією вектора швидкості з урахуванням поточного місця положення (ПМП). Потрібні імпульси корекції розраховуються за помилками ПМП КЗУ до директивного (заданого). Помилки визначаються з використанням навігаційних даних зовнішніх систем, зокрема ССН. Потрібні сигнали управління для відпрацювання бортовою системою управління реалізуються бортовими алгоритмами кореляційно-екстремальної обробки, які здійснюють порівняння завчасно закладених на борт даних про земну поверхню (градієнт висот, оптичний або радіолокаційний портрет місцевості) у районах проведення корекції та поточних, отриманих від бортових засобів (радіовисотоміра з барависотоміром, локації в оптичному або радіодіапазоні).

З урахуванням викладеного та запропонованого [12–17] можемо перетворити (3) у такий спосіб:

$$P_{РЕБ} = 1 - P_{Н} = 1 - P_{ДН} P_{БН} . \quad (4)$$

Імовірність успішного наведення КЗУ для дальнього наведення можна записати в такому вигляді:

$$P_{ДН} = P_{ДН}^{ССН} P_{ДН}^x P_{ДН}^y + (1 - P_{ДН}^{ССН}) P_{ДН}^x P_{ДН}^y + (1 - P_{ДН}^x P_{ДН}^y) P_{ДН}^{ССН} , \quad (5)$$

де $P_{дн}^x P_{дн}^y$ – імовірності успішного дальнього наведення без корекції ПМП КЗУ за координатами X, Y у прийнятій для КЗУ із СН системі координат, наприклад, географічній, полярній, геоцентричній відповідно;

$P_{дн}^{CCH}$ – імовірність корекції ПМП із використанням ССН.

Імовірність успішного ближнього наведення визначається за такою формулою:

$$P_{БН} = P_{БН}^{кор} P_{БН}^x P_{БН}^y + (1 - P_{БН}^{кор}) P_{БН}^x P_{БН}^y + (1 - P_{БН}^x P_{БН}^y) P_{БН}^{кор}, \quad (6)$$

де $P_{БН}^x P_{БН}^y$ – імовірності успішного ближнього наведення без корекції за координатами X, Y відповідно;

$P_{БН}^{кор}$ – імовірність корекції в разі ближнього наведення.

Імовірність $P_{БН}^{кор}$ знаходимо за формулою

$$P_{БН}^{кор} = P_{БН}^{CCH} P_{БН}^{ГСН} + (1 - P_{БН}^{CCH}) P_{БН}^{ГСН} + (1 - P_{БН}^{ГСН}) P_{БН}^{CCH}, \quad (7)$$

де $P_{БН}^{CCH}$ – імовірність корекції ПМП із використанням ССН;

$P_{БН}^{ГСН}$ – імовірність корекції за допомогою ГСН.

Аналіз (4)–(7) показує, що застосування КЗУ на ОЗ здійснюють із використанням СН ВТЗ, що діють в ЕМС. Успішність наведення (за нашими припущеннями) визначається імовірністю ПМП КЗУ в просторово-часових межах ділянки його руху з помилками, що не перевищують можливості їх відпрацювання СН ВТЗ.

Наявність у СН ВТЗ радіоелектронних засобів – джерел радіовипромінювання та радіоелектронних засобів – пристроїв приймання радіосигналів визначає:

необхідність дослідження проблеми боротьби з ВТЗ (із СН) на ділянці наведення КЗУ на ОЗ в аспекті операцій в ЕМС [12];

можливість дослідження залежності успішності наведення від ефективності дій в ЕМС, які потенційно можна проводити СЗ, що має в складі засоби РЕБ, які є носіями спроможностей із РЕП та електронної підтримки;

доцільність дослідження проблеми РЕБ із СН як завдання дезорганізації (системи) управління, технічною основою якої є система зв'язку як сукупність радіоліній зв'язку і передавання даних.

Відповідно до положень [12, 19], застосування комплексів ВТЗ та боротьба із СН їх КЗУ на етапі наведення – це військові операції (дії) в ЕМС, що включають передачу та прийом електромагнітної енергії в електромагнітному операційному середовищі (ЕМОС). Сукупність радіоелектронних засобів комплексів ВТЗ та СЗ, що є об'єктами таких операцій (дій), можна поділити на умовні групи – системи за призначенням: системи зв'язку, які передають та приймають електромагнітну енергію, кодовану інформацією, що підтримує широкий спектр діяльності: оперативне автоматизоване управління (С2); визначення координат, навігацію та синхронізацію (positioning, navigation, and timing – PNT, наприклад така ССН рф ГЛОНАСС); впізнавання (ідентифікація) сил і засобів за системою «свій – чужий» (identification, friend or foe – IFF); радіомовну трансляцію, яка підтримує інформаційну діяльність та розповсюдження даних;

активні та пасивні системи ідентифікації даних: радіоелектронної (радіо та радіотехнічної) розвідки; радіолокаційні, оптоелектронні, лазерні засоби для забезпечення функціонування СН ГСН та відповідних дій проти КЗУ;

системи електромагнітної атаки, що передають енергію через ЕМОС з метою виведення з ладу або завдання шкоди здатності противника до приймання сигналів (передавання даних), які безпосередньо підтримують функціонування СН ГСН та забезпечують дії СЗ проти КЗУ, або електроніки їх модулів: засоби РЕП; засоби направленої енергії (directed energy – DE), наприклад, радіочастотний (RF – radio frequency jammers) перетворювач; лазерні пристрої засліплювальної дії; засоби електромагнітної зброї.

Основними складовими дій в ЕМС комплексів ВТЗ та СЗ можна вважати:

приймання прив'язаних до часу радіосигналів навігації бортовими приймачами КЗУ від орбітального угруповання ССН із метою отримання інформації про ПМП для визначення даних корекції руху КЗУ;

випромінювання та (або) приймання сигналів радіолокаційними, (оптоелектронними, лазерними) бортовими пристроями КЗУ з метою отримання інформації підстильної земної поверхні, визначення даних корекції руху та виведення КЗУ в зону ближнього наведення на ОЗ;

випромінювання та (або) приймання сигналів радіолокаційними, оптоелектронними, лазерними пристроями ГСН КЗУ з метою отримання інформації про ОЗ для визначення даних функціонування СН;

випромінювання та (або) приймання сигналів радіолокаційними, оптоелектронними, лазерними (радіотехнічними) пристроями СЗ із метою отримання інформації про дії в ЕМОС для визначення даних ідентифікації КЗУ;

випромінювання сигналів, що створюють штучні електромагнітні перешкоди в діапазонах функціонування приймальних пристроїв (ССН) засобами РЕБ або електромагнітної зброї СЗ із метою подавлення (виведення з ладу) радіоелектронних засобів КЗУ для дезорганізації роботи СН ВТЗ;

випромінювання сигналів імітаційних перешкод для відхилення КЗУ від курсу з метою відведення зброї за межі контуру ОЗ на відстань, достатню для забезпечення його неураження;

випромінювання сигналів перешкод радіопідривачам КЗУ ВТЗ для ініціювання передчасного (до досягнення рубежу ураження ОЗ) спрацьовування.

Крім того, необхідно розглядати можливість використання в комплексах ВТЗ (особливо це стосується БпАК) командних радіоліній управління (КРЛУ) КЗУ. У разі організації КРЛУ КЗУ складовими дій в ЕМС комплексів ВТЗ та СЗ необхідно вважати:

випромінювання сигналів наземними (управління) та бортовими (телеметрії, координати) передавачами, а також приймання відповідних сигналів бортовими й наземними приймачами;

приймання та передавання (ретрансляція) сигналів управління, телеметрії (координатної та некоординатної інформації) приймальними й передавальними пристроями ретрансляції – ретрансляторами космічного (повітряного, наземного, морського) базування, функціонування яких забезпечується проходженням таких сигналів на відстанях, що перевищують дальність прямої видимості;

приймання сигналів радіотехнічними пристроями (радіоелектронної розвідки, РЕБ) СЗ із метою отримання інформації про дії в ЕМОС для визначення даних ідентифікації КРЛУ КЗУ та її складових (наземної, космічної, повітряної);

випромінювання сигналів, що створюють штучні електромагнітні перешкоди в діапазонах функціонування приймальних пристроїв КРЛУ засобами РЕБ або електромагнітної зброї СЗ із метою подавлення (виведення з ладу) радіоелектронних засобів ретрансляторів для дезорганізації роботи СН ВТЗ.

У разі «перемоги» СЗ у військовій операції (діях) у рамках ЕМС на етапі дальнього наведення КЗУ, за умови подавлення бортових приймальних пристроїв сигналів ССН ($P_{ДН}^{ССН} = 0$ – імовірність корекції ПМП з використанням ССН), отримуємо, що ймовірність успішного управління КЗУ (дальнього наведення) можна записати в такому вигляді:

$$P_{ДН} = P_{ДН}^x P_{ДН}^y, \quad (8)$$

де $P_{ДН}^x P_{ДН}^y$ – імовірності успішного дальнього наведення без корекції ПМП КЗУ за координатами X, Y у прийнятій для КЗУ із СН системі координат.

У разі «перемоги» СЗ у військовій операції (діях) у рамках ЕМС на етапі ближнього наведення КЗУ, за умови подавлення пристроїв ГСН ($P_{БН}^{ГСН} = 0$), або бортових приймальних пристроїв сигналів ССН ($P_{БН}^{ССН} = 0$), або в разі $P_{БН}^{ГСН} = 0$ і $P_{ДН}^{ССН} = 0$, отримуємо, що (7) для визначення $P_{БН}^{кор}$ – імовірності корекції за ближнього наведення – можна скористатися такими виразами:

$$а) P_{БН}^{кор} = P_{БН}^{ССН} \text{ та } P_{БН} = P_{БН}^{ССН} P_{БН}^x P_{БН}^y + (1 - P_{БН}^{ССН}) P_{БН}^x P_{БН}^y + (1 - P_{БН}^x P_{БН}^y) P_{БН}^{ССН} \quad (9)$$

– імовірність корекції ПМП із використанням ССН у разі $P_{БН}^{ГСН} = 0$;

$$б) P_{БН}^{кор} = P_{БН}^{ГСН}, P_{БН} = P_{БН}^{ГСН} P_{БН}^x P_{БН}^y + (1 - P_{БН}^{ГСН}) P_{БН}^x P_{БН}^y + (1 - P_{БН}^x P_{БН}^y) P_{БН}^{ГСН} \quad (10)$$

– імовірність корекції ПМП із використанням ГСН у разі $P_{БН}^{ССН} = 0$;

$$в) P_{БН}^{кор} = 0, \text{ а } P_{БН} = P_{БН}^x P_{БН}^y \quad (11)$$

у разі $P_{БН}^{ГСН} = 0$ – імовірність корекції ПМП з використанням ГСН;

у разі $P_{БН}^{ССН} = 0$ – імовірність корекції ПМП з використанням ССН.

За умовами, прийнятими для епізоду, який розглядається, інерціальна система, що забезпечує $P_{ДН}^x; P_{ДН}^y; P_{БН}^x; P_{БН}^y$, не потребує організації радіоліній зв'язку, а передавання даних здійснюється у внутрішньому контурі управління КЗУ. Але значна (як для ВТЗ) похибка визначення ПМП лише за інерціальною системою координат (зростає за часом знаходження КЗУ в польоті від точки пуску до ОЗ) потребує його корегування з використанням навігаційних систем. ССН на сучасному етапі розвитку військової техніки є найбільш розповсюдженим інструментом корегування далекобійної ВТЗ.

Особливості побудови систем TERCOM, DSMAC, а також ГСН КЗУ не потребують організації радіоліній зв'язку, тому для оцінювання їх перешкодозахищеності та, відповідно, можливості їх радіо або оптико-електронного подавлення необхідно використовувати методи боротьби, зокрема РЕБ, із радіолокаційними та оптико-електронними (інфрачервоними, лазерними) системами.

Отже, слід вважати, що потребує оцінювання перешкодозахищеність радіоліній (зв'язку) для передавання даних у системі навігації КЗУ, у нашому випадку ССН, а також для обміну даними з використанням КРЛУ (за їх побудови).

Питанням оцінювання захищеності радіоліній зв'язку присвячена значна кількість робіт, зокрема їх ефективному використанню в різних галузях військової справи. У нашому випадку відомі результати розглянемо в аспекті зворотної задачі – оцінювання захищеності радіоліній ССН (КРЛУ) щодо їх ефективного подавлення засобами РЕБ.

З використанням [19] будемо вважати, що

$$P_{ДН(БН)}^{ССН} = 1 - \left[(1 - P_{ЕЗ}^{ССН})(1 - P_{ЧЗ}^{ССН})(1 - P_{РЗ}^{ССН})P_{РЕБ}^{ССН} \right], \quad (12)$$

де $P_{ДН(БН)}^{ССН}$ – імовірність корекції ПМП із використанням ССН під час ведення РЕБ в операції в ЕМС;

$P_{ЕЗ}^{ССН}$ – показник енергетичної перешкодозахищеності ССН;

$P_{ЧЗ}^{ССН}$ – показник часової перешкодозахищеності ССН;

$P_{РЗ}^{ССН}$ – показник розвідувальної захищеності ССН;

$P_{РЕБ}^{ССН}$ – імовірність постановки (дієвого впливу) перешкоди засобами РЕБ на радіолінію: «передавач» (каналу ССН), розташований на борту носія (космічного апарата) зі складу ССН, – «приймач», розміщений на борту КЗУ зі складу комплексу ВТЗ.

Виконання (8), (11), (12) забезпечує виконання умови (вимоги щодо РЕБ) $P_{ДН(БН)}^{ССН} = 0$. Відповідно, можна перетворити (12) для визначення вимог до РЕБ за показниками, що дійсно дозволяють оцінювати бойову ефективність комплексів РЕБ із ВТЗ в операціях в ЕМС за ступенем дезорганізації управління КЗУ щодо зриву (порушення або ускладнення) корекції ПМП у процесі наведення на ОЗ.

Для оцінювання РЕБ в операції в ЕМС із протидії ВТЗ за ймовірнісним показником дезорганізації СН (щодо супутникової навігації) КЗУ введемо позначення $P_{РЕБ\delta}^{ССН}$:

$$P_{РЕБ\delta}^{ССН} = (1 - P_{ЕЗ}^{ССН})(1 - P_{ЧЗ}^{ССН})(1 - P_{РЗ}^{ССН})P_{РЕБf}^{ССНнрм} P_{РЕБа}^{ССНнрм} P_{РЕБi}^{ССНнрм}, \quad (13)$$

де $P_{РЕБ\delta}^{ССН}$ – показник дезорганізації наведення КЗУ зі ССН (КРЛУ) засобами РЕБ;

$P_{РЕБf}^{ССНнрм}$ – імовірність збіжності перешкоди засобу РЕП зі смугою пропускання «приймача», розташованого на борту КЗУ;

$P_{РЕБа}^{ССНнрм}$ – імовірність наведення антени засобу РЕП на антену «приймача», розташованого на борту КЗУ, із точністю, необхідною для подавлення;

$P_{РЕБi}^{ССНнрм}$ – імовірність збіжності часу дії перешкоди засобу РЕП зі часом роботи «приймача», розташованого на борту КЗУ.

Аналіз умови (13) дозволяє визначити складність завдання радіоелектронної розвідки та РЕБ щодо повного РЕП радіолінії ССН, що розглядається.

Для прикладу кількісної оцінки прийемо умови оптимістичного для СЗ прогнозування:

низькі показники (імовірності) захищеності засобів радіолінії, наприклад $P_{ЕЗ}^{ССН} = P_{СЗ}^{ССН} = P_{РЗ}^{ССН} = 0,1$;

високі показники (імовірності) подавлення засобами РЕБ, наприклад $P_{РЕБf}^{ССНпрм} = P_{РЕБа}^{ССНпрм} = P_{РЕБi}^{ССНпрм} = 0,9$.

За такими вихідними даними отримуємо, що $P_{РЕБ\delta}^{ССН} = 0,9^6 \approx 0,43$.

У разі браку вихідних даних для оцінювання ймовірності події в окремих випадках рекомендують визначати для їх кількісних оцінок величину 0,5. У нашому випадку для незалежних подій отримуємо, що кількісне значення $P_{РЕБ\delta}^{ССН} = 0,5^6 \approx 0,004$ на два порядки менше, ніж у попередньому прикладі.

Значення наведених імовірностей залежать від характеристик засобів (комплексів), що визначаються видом, класом, підкласом і типом як ВТЗ та СН КЗУ, так і засобів РЕБ, способами їх застосування, умовами загальної та радіоелектронної (електромагнітної) обстановки.

Отриманий показник (13) є чутливими до показників якості засобів РЕБ та дозволяє прогнозовано оцінювати ефективність РЕБ в операції в ЕМС із захисту об'єкта від ВТЗ.

Необхідно зазначити, що формули (1)–(13) відображають підхід до визначення ефективності. Отримання кількісних оцінок є окремою складною науковою проблемою, що потребує досліджень.

Висновки

1. Вирішено актуальне науково-практичне завдання щодо обґрунтування змісту, розроблення складових, показників та критеріїв оцінювання ефективності РЕБ як складової операції в ЕМС за ймовірнісним показником дезорганізації системи наведення ВТЗ щодо супутникової навігації КЗУ.

Запропоноване систематизує знання в предметній галузі та створює передумови для практичного застосування результатів досліджень для розв'язання проблем сучасної збройної боротьби.

2. Розроблені положення оцінювання ефективності РЕБ щодо протидії ВТЗ можуть бути враховані уповноваженими посадовими особами для прийняття своєчасних системних рішень на використання засобів РЕБ у СЗ об'єктів від ВТЗ.

3. Запропонований підхід передбачає проведення подальших досліджень щодо уточнення математичних розрахунків відповідно до особливостей об'єкта, його СЗ від ВТЗ та зразків військової техніки РЕБ, що входять до її складу.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. George M. Siouris. Missile Guidance and Control Systems. New York : Springer-Verlag, 2004. 680 p.
2. Yanushevsky Rafael. Modern missile guidance. London, New York : CRC Press, 2008. 242 p.

3. Мануйленко В. Г., Удин Е. Г. Теоретические основы крылатых управляемых ракет. Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2020. 201 с.
4. Основы теории построения корабельных комплексов крылатых ракет. Ч. 2. Устройство и функционирование бортовой аппаратуры системы управления комплексов крылатых ракет : учеб. пособ. / С. В. Васильев [и др.]. Санкт-Петербург : Балт. гос. техн. ун-т, 2020. 99 с.
5. Воєнне мистецтво в локальних війнах і збройних конфліктах 50–80-х років ХХ століття : навч. посіб. / М. І. Рибак, А. М. Явтушенко, М. А. Шпанко та ін.; під ред. В. Б. Толубко. Київ : НАОУ, 2004. 184 с.
6. Рибак М. І., Бадах Ю. Г. Воєнне мистецтво в локальних війнах після другої світової війни : навч. посіб. Київ : НАОУ, 2000. 136 с.
7. Стрижевський В. В., Лісневський В. В. Високоточна зброя та захист від неї у загальновійськовому бою : навч. посіб. Київ : АЗСУ, 1998. 84 с.
8. Високоточна зброя та основи захисту від неї : навч. посіб. / В. В. Стрижевський, Д. В. Зайцев, В. П. Бабенко та ін. Київ : НАОУ, 2004. 76 с.
9. Борисов Е. Г., Евдокимов В. И. Высокоточное оружие и борьба с ним : учеб. пособ. Санкт-Петербург : Изд-во «Лань», 2013. 496 с. : ил.
10. Теоретичні основи управління угрупованням військ (сил) у сучасних умовах збройної боротьби : монографія / О. М. Загорка, А. А. Корецький, А. К. Павліковський, І. О. Загорка; за заг. ред. І. С. Руснака. Київ : НУОУ, 2020. 248 с.
11. Тимошенко Р. И., Загорка А. Н. Виды неопределенности информации, анализируемой органом военного управления при разработке замысла операции и определении состава группировки войск // Ориентир: военно-теоретический журнал Нац. ун-та обороны Республики Казахстан. 2015. № 1 (65). С. 18–21.
12. Joint Publication 3-85 (JP 3-85). Joint Electromagnetic Spectrum Operations. USA. 2020. 148 p.
13. Іщенко Д. А., Кирилюк В. А., Іщенко С. Д., Маришук Л. М. Парадигма протидії розвідувально-ударним безпілотним авіаційним комплексам // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. Житомир : ЖВІ, 2020. Вип. 18 С. 73–90. <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2020.18.08>
14. Кузнецов В. А. Подход и методики оценки вклада космических систем в эффективность боевых действий // Наука и образование : эл. науч.-техн. изд. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/245509.html> (дата обращения: 20.11.2022).
15. Старчак С. Л., Селиванов Р. А., Вафин М. А., Топорков А. Г. Уточнение модели обобщенного потребителя в методике оценки вклада космических систем в эффективность боевых действий // Инженерный вестник : эл. науч.-техн. журн. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/245509.html> (дата обращения: 20.11.2022).
16. Цветков А. Г. Принципы количественной оценки эффективности радиоэлектронных средств. Москва, 1971. 200 с.
17. Іщенко Д. А., Федорчук Д. Л. Модель узагальненого споживача інформації безпілотних авіаційних комплексів // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. Житомир : ЖВІ, 2016. Вип. 13. С. 136–146.
18. Заславець В. П., Долина М. П., Чечуй О. В. Особливості розрахунку завадозахищеності радіозв'язку в умовах радіоподавлення (радіоелектронного конфлікту) // Озброєння та військова техніка. 2020. № 1 (61). С. 7–12.

19. Field Manual 3-12 (FM 3-12). Cyberspace Operations and Electromagnetic Warfare. URL: <https://irp.fas.org/doddir/army/fm3-12.pdf> (last accessed: 10.12.2022).

Стаття надійшла до редакції 20.12.2022.

REFERENCES

1. George, M. (2004). *Siouris. Missile Guidance and Control Systems*. New York: Springer-Verlag.
2. Yanushevsky Rafael. (2008). *Modern missile guidance*. London, New York: CRC Press.
3. Manuilenko, V. G., & Udin, E. G. (2020). *Teoreticheskie osnovy krylatykh upravliaemykh raket [Theoretical foundations of cruise guided missiles]*. Saint Petersburg [in Russian].
4. Vasil'ev, S. V. et al. (2020). *Osnovy teorii postroeniia korabel'nykh kompleksov krylatykh raket. Ch. 2. Ustroistvo i funktsionirovanie bortovoi apparatury sistemy upravleniia kompleksov krylatykh raket [Fundamentals of the theory of construction of ship complexes of cruise missiles. Part 2. The device and functioning of the onboard equipment of the control system of cruise missile systems]*. Saint Petersburg [in Russian].
5. Rybak, M. I., Yavtushenko, A. M., & Shpanko, M. A. et al. (2004). *Voienne mystetstvo v lokalnykh viynakh i zbroynykh konfliktakh 50–80-kh rokiv XX stolittia [Military art in local wars and armed conflicts of the 50s-80s of the 20th century]*. V. B. Tolubko (Ed.). Kyiv: NAD of Ukraine [in Ukrainian].
6. Rybak, M. I., & Badakh, Yu. H. (2000). *Voienne mystetstvo v lokalnykh viynakh pislia druhoi svitovoi viyny [Military Art in Local Wars after the Second World War]*. Kyiv: NAD of Ukraine [in Ukrainian].
7. Stryzhevskyĭ, V. V., & Lisnevskyĭ, V. V. (1998). *Vysokotochna zbroia ta zakhyst vid nei u zahalnoviyskovomu boiu [High-precision weapons and protection against them in combined arms combat]*. Kyiv [in Ukrainian].
8. Stryzhevskyĭ, V. V., Zaĭtsev, D. V., & Babenko, V. P. et al. (2004). *Vysokotochna zbroia ta osnovy zakhystu vid nei [High-precision weapons and the basics of defense against them]*. Kyiv: NAD of Ukraine [in Ukrainian].
9. Borisov, E. G., & Evdokimov, V. I. (2013). *Vysokotochnoe oruzhie i bor'ba s nim [High-precision weapons and the fight against them]*. Saint Petersburg [in Russian].
10. Zahorka, O. M., Koretskyi, A. A., Pavlikovskyi, A. K., & Zahorka, I. O. (2020). *Teoretychni osnovy upravlinnia uhrupovanniam viisk (syl) u suchasnykh umovakh zbroinoi borotby [Theoretical foundations of managing a group of troops (forces) in modern conditions of armed struggle]*. I. S. Rusnak (Ed.). Kyiv: NUD of Ukraine [in Ukrainian].
11. Timoshenko, R. I., & Zagorka, A. N. (2015). *Vidy neopredelennosti informatsii, analiziruemoi organom voennogo upravleniia pri razrabotke zamysla operatsii i opredelenii sostava gruppirovki voisk [Types of uncertainty of the information analyzed by the military management body when developing the plan of the operation and determining the composition of the troop group]*. *Orientir: voenno-teoreticheskii zhurnal Nats. un-ta oborony Respubliki Kazakhstan [Orientation: military-theoretical journal of the National University of Defense of the Republic of Kazakhstan]*, 1 (65), 18–21 [in Russian].
12. Joint Publication 3-85 (JP 3-85). Joint Electromagnetic Spectrum Operations. USA. (2020).

13. Ishchenko, D. A., Kyryliuk, V. A., Ishchenko, S. D., & Maryshchuk, L. M. (2020). Paradyhma protydii rozviduvalno-udarnym bezpilotnym aviatsiinym kompleksam [Paradigm of Resistance to Intelligence and Impact Unlimited Aircraft Complexes]. *Problemy stvorennia, vyprobuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system : zb. nauk. prats [Problems of construction, testing, application and operation of complex information systems: Scientific journal of Korolov Zhytomyr Military Institute]*, 18, 73–90. <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2020.18.08> [in Ukrainian].
14. Kuznetsov, V. A. (n.d.). Podkhod i metodiki otsenki vklada kosmicheskikh sistem v effektivnost' boevykh deistviï [Approach and methods for evaluating the contribution of space systems to the effectiveness of combat operations]. *Nauka i obrazovanie : el. nauch.-tekhn. izd. [Science and education: el. scientific and technical ed.]*. Retrieved from <http://technomag.edu.ru/doc/245509.html> [in Russian].
15. Starchak, S. L., Selivanov, R. A., Vafin, M. A., & Toporkov, A. G. (n.d.). Utochnenie modeli obobshchennogo potrebitelia v metodike otsenki vklada kosmicheskikh sistem v effektivnost' boevykh deistvii [Refinement of the model of a generalized consumer in the methodology for assessing the contribution of space systems to the effectiveness of combat operations]. *Inzhenernyi vestnik : el. nauch.-tekhn. zhurn. [Engineering Bulletin: el. scientific and technical journal]*. Retrieved from <http://technomag.edu.ru/doc/245509.html> [in Russian].
16. Tsvetkov, A. G. (1971). *Printsipy kolichestvennoï otsenki effektivnosti radioelektronnykh sredstv [Principles of quantitative assessment of the effectiveness of radio-electronic means]*. Moscow [in Russian].
17. Ishchenko, D. A., & Fedorchuk, D. L. (2016). Model uzahalnenoho spozhyvacha informatsii bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv [Model of the generalized information consumer of unmanned aircraft systems]. *Problemy stvorennia, vyprobuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system : zb. nauk. prats [Problems of construction, testing, application and operation of complex information systems: Scientific journal of Korolov Zhytomyr Military Institute]*, 13, 136–146 [in Ukrainian].
18. Zaslavets, V. P., Dolya, M. P., & Chechui, O. V. (2020). Osoblyvosti rozrakhunku zavadozakhyschenosti radiozv'iazku v umovakh radiopodavleniia (radioelektronnoho konfliktu) [Peculiarities of radio communication immunity calculation in conditions of radio suppression (radio-electronic conflict)]. *Ozbroiennia ta viiskova tekhnika [Armaments and military equipment]*, 1 (61), 7–12 [in Ukrainian].
19. Field Manual 3-12 (FM 3-12). *Cyberspace Operations and Electromagnetic Warfare*. (n.d.). Retrieved from <https://irp.fas.org/doddir/army/fm3-12.pdf>

D. A. Ischenko, D. L. Fedorchuk, S. D. Ischenko, L. M. Maryshchuk

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF USING RADIO ELECTRONIC WARFARE MEASURES FOR COUNTERING HIGH PRECISION WEAPONS AS A COMPONENT OPERATION IN THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

The presence of a significant number of strike systems of high-precision weapons at the enemy causes an urgent need to create effective systems for the protection of infrastructural and military facilities. One of the elements of such systems can be the forces and means of radio-electronic warfare, which will allow to carry out protective actions in the electromagnetic spectrum.

But in the current conditions of resource and time limitations, the involvement of electronic warfare means in such protection systems is a certain scientific and practical problem that needs to be solved, in particular, through the determination of the predicted effectiveness of their functioning in the system of object protection.

The article proposes an approach according to which the actions of high-precision weapons in the process of aiming them at objects and the corresponding measures of defense systems used against them are considered antagonistic, since they are performed both with the use of transmitting and receiving radio-electronic means of high-precision weapons, and protection systems. The use of radio-electronic warfare in operations in the electromagnetic spectrum to counter high-precision weapons is being investigated as a component of operations in the electromagnetic spectrum. To conduct the research, a tactical combat episode was considered, in which the accepted assumptions and limitations do not distort the content and physical essence of the processes of radio-electronic warfare with high-precision weapons.

It is proposed to evaluate radio-electronic warfare based on the probability indicator of disorganization of the high-precision weapon guidance system. It is shown that, in accordance with the accepted conditions, in the numerical definition, the indicator is limited by the probability of successful guidance, which is provided by an inertial system that does not require the organization of radio communication lines, and data transmission is carried out in the internal control loop.

The proposed indicator can characterize the use of electronic warfare forces and means in defense systems against high-precision weapons, since it depends on:

from the technical characteristics of samples of high-precision weapons (indirectly determines the immunity of the radio lines of their guidance systems);

from the capabilities of the forces and means of radio-electronic warfare with high-precision weapons.

Keywords: *high-precision weapons; operation in the electromagnetic spectrum; electronic warfare; guidance systems.*