

УДК 358:007.35

О.М. Жарик

Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця

ПОКАЗНИКИ І КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИКРИТТЯ ВАЖЛИВИХ ДЕРЖАВНИХ ОБ'ЄКТІВ І УГРУПУВАНЬ ВІЙСЬК (СИЛ)

З використанням системного підходу і методів дослідження операцій запропонований єдиний вектор показників та запропонована система критеріїв оцінки ефективності функціонування ППО важливих державних об'єктів з припинення терористичних актів з використанням літальних апаратів у мирний час, прикриття ВДО і угруповань військ (сил) у воєнний час.

Ключові слова: показник, критерій, ефективність, ефект, операція, результат, ресурси, ППО, ВДО.

Вступ

Постановка проблеми та аналіз літератури. Основним завданням протиповітряної оборони (ППО) важливих державних об'єктів (ВДО) у мирний час є припинення терористичних актів з використанням літальних апаратів, але на сьогодні у керівних документах не визначені показники та критерії ефективності ППО ВДО для мирного часу. Існуючі для воєнного часу показники ефективності систем розвідки, винищувального авіаційного та зенітного ракетно-артилерійського прикриття до кінця не систематизовані і розрізнені по родах військ. Критерії, які дозволяють характеризувати ППО як слабку, стійку або сильну, розроблені як ВКА ППО ім. Жукова, так і науково-дослідними установами ЗС України, на сьогодні не затверджені жодним керівним документом.

Розгляду питань ефективності систем, які складають ППО, присвячена велика кількість наукових робіт. Так, питання оцінювання ефективності угруповань ЗРК з відбиття засобів повітряного нападу розглянуті в роботах [1 – 5]. Питання оцінювання ефективності винищувача у повітряному бою та винищувального авіаційного покриття розглянуті в роботах [4, 6, 7]. Показник для оцінювання ефективності взаємодії зенітних ракетних військ і винищувальної авіації запропонований у роботі [8]. Формула для розрахунку ефективності автоматизованої системи управління наведена в роботі [9].

Більшість авторів публікацій до основних показників ефективності бойових дій вогневих засобів ППО відносять три показника: математичне очікування (МОЧ) кількості збережених об'єктів і угруповань військ (сил), МОЧ втрат вогневих засобів ППО і МОЧ кількості знищених цілей. Проте, низка авторів, наприклад [10], аналізуючи результати локальних війн, роблять висновок про те, що існуючі методики оцінки ефективності ППО, які базуються на обліку, перш за все, кількості знищених цілей, мають досить низьку корельованість з дійсними результатами бойових дій. Вони заявляють про необхідність розробки нових методів розрахунку ефективності як багатопараметричної функції.

Деякі автори взагалі вважають неприйнятним словосполучення “ефективність прикриття”, вказуючи на те, що прикриття це процес. Однак аналіз літератури показує, що термін “ефективність” пов'язується, тобто використовується спільно і з системою, і з операцією, і з рішенням на операцію (бойові дії). Поняття, які при цьому утворюються, можна вважати еквівалентними. В решті-решт, кожне з них відображає співвідношення кінцевого результату операції та поставлених цілей (завдань).

Таким чином, завданням цієї статті є визначення показників і критеріїв оцінки ефективності прикриття важливих державних об'єктів і угруповань військ (сил).

Основна частина

З точки зору системного підходу і методів дослідження операцій протиповітряна оборона (ППО) важливих державних об'єктів (ВДО) і угруповань військ (сил) (УВ(с)) є системою, яка в мирний та воєнний час проводить операції. Основною метою цих операцій є недопущення знищення ВДО і УВ(с) з повітря, а також нанесення ним ушкоджень або втрат, які є суттєвими для воєнно-економічного потенціалу держави або можуть спричинити екологічну катастрофу регіонального, державного (міждержавного) масштабу або масову загибель людей. У цьому випадку, під “операцією” ми будемо розуміти будь-який захід (або систему дій), об'єднаних єдиним замислом і спрямованих на досягнення визначеної мети [11, 12].

Це визначення операції не співпадає з визначенням операції, прийнятим у воєнному мистецтві, а є більш ширшим. Це визначення дозволяє розглядати в якості операції як обстріл одиночного літака, захопленого терористами, так і операції, що проводяться усіма Збройними Силами України.

Слід зазначити, що для всіх операцій, які проводяться в ході ППО, процедура оцінювання ефективності рішень має характер прогнозування, оскільки дії іншої конфліктної сторони (противника), яка проводить свою операцію з ураження ВДО і

УВ(с), нам, як правило, не відомі. Крім того під час таких операцій виконується багато процесів, які мають імовірнісний характер (виявлення, обстріл та інші), тому такі операції слід характеризувати як імовірнісні операції.

Автор пропонує обирати і формувати показники та критерії ефективності системи за наступною методикою, яка схематично наведена на рис. 1:

на першому етапі визначаємо основну та всі можливі додаткові цілі функціонування ППО ВДО і УВ(с) (цілі операції);

на другому етапі визначаємо всі керовані і некеровані характеристики системи (визначаємо внут-

рішні технічні і організаційні фактори), а також всі зовнішні фактори, які впливають на функціонування системи для контролю чутливості показників та критеріїв;

на третьому етапі обираємо набір показників кінцевого результату операції (ПКРО);

на четвертому етапі перевіряємо обраний набір показників кінцевого результату операції на відповідність загальним вимогам до показників кінцевого результату операції. При невідповідності уточнюємо пункти 1 – 3;

на п'ятому етапі обираємо і формуємо критерій ефективності.

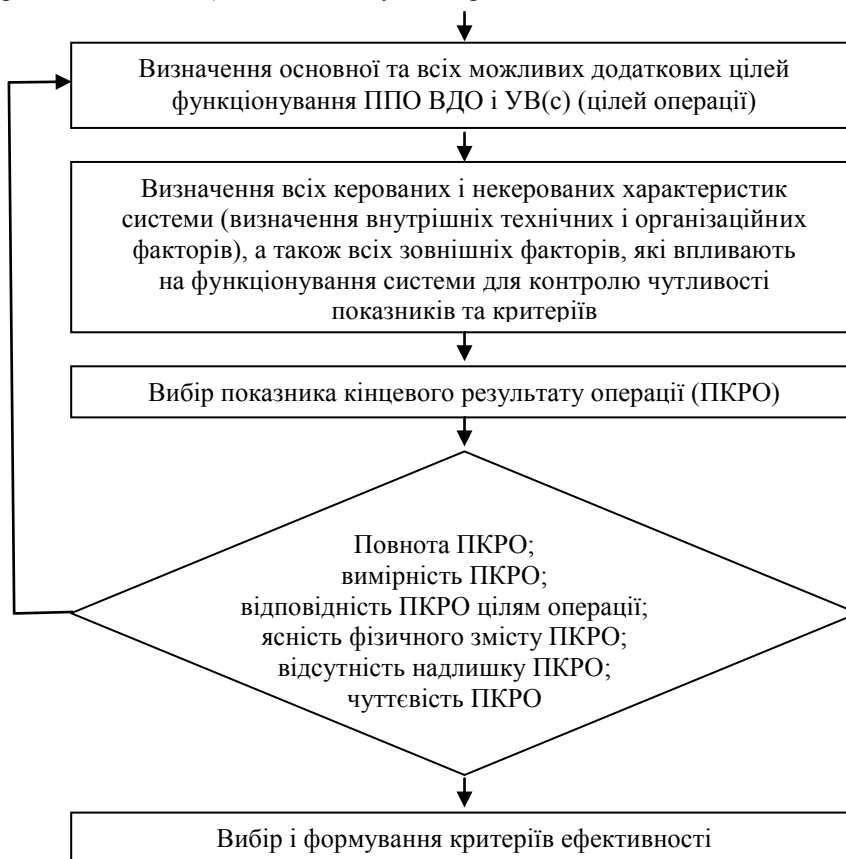


Рис. 1. Методика формування показників і критеріїв ефективності ППО ВДО і УВ(с)

Розглянемо ці етапи більш детально.

1. Визначення основної та додаткових цілей функціонування ППО ВДО і УВ(с) (цілей операції)

Практично будь-яка операція, яка проводиться в ході ППО ВДО і УВ(с), переслідує одночасно декілька цілей, серед яких одна є основною (головною), а інші – допоміжними (другорядними). Крім того цілі можуть бути сформульовані або на принципі достатності або на принципі оптимальності.

Для ППО ВДО і УВ(с) у воєнний час на основі принципу достатності:

основною ціллю є:

збереження об'єктів, що прикриваються з імовірністю не нижче заданої;

додатковими цілями є:

знищення не менше заданого відсотку ЗПН;

збереження не менше заданого відсотку своїх бойових засобів;

потрібні для проведення операції ресурси всіх видів не повинні перевищувати тих, що виділяються на операцію (тих, які є в розпорядженні);

витрата часу на розгортання системи, приведення її в бойову готовність №1, час реакції системи, час відновлення боєздатності системи не повинні перевищувати встановлених обмежень.

Слід зазначити, що дві додаткові цілі: знищення не менше заданого відсотку ЗПН та збереження не менше заданого відсотку своїх бойових засобів можуть бути переформульовані в єдину додаткову

ціль – відсоток втрат ЗПН противника повинен перевищувати відсоток втрат своїх засобів.

Для ППО ВДО і УВ(с) у воєнний час на основі принципу оптимальності:

- основною ціллю є:
- збереження об'єктів, що прикриваються з максимальною імовірністю;
- додатковими цілями є:
- знищення максимального відсотку ЗПН;
- збереження максимального відсотку своїх бойових засобів;
- забезпечення мінімальних ресурсних потреб для проведення операції;
- забезпечення мінімальних витрат часу на розгортання системи, приведення її в бойову готовність №1, мінімізація часу реакції системи, мінімізація часу відновлення боєздатності системи.

Для ППО ВДО і УВ(с) у мирний час цілі є такими ж за виключенням двох, що стосуються кількості знищених ЗПН та кількості збережених своїх бойових засобів.

2. Визначення керованих і некерованих характеристик, а також всіх зовнішніх факторів, які впливають на функціонування ППО ВДО і УВ(с)

До внутрішніх технічних факторів ППО ВДО і УВ(с) віднесемо всі технічні характеристики складових систем і бойові алгоритми АСУ:

- ТТХ ОВТ, якими оснащена система;
- ТТХ засобів АСУ і зв'язку;
- бойові алгоритми АСУ, закладені в ЕОМ;
- технічний стан і надійність ОВТ.

До внутрішніх організаційних факторів ППО ВДО і УВ(с) віднесемо всі організаційні розпорядження, бойові накази, бойові документи, нормативи й алгоритми, які визначають порядок функціонування, а також порядок організації бойового чергування, рівень підготовки особового складу і порядок знищення літальних апаратів (у тому числі, захоплених терористами):

- варіант бойового порядку;
- порядок організації зв'язку і оповіщення;
- порядок організації взаємодії;
- рубежі та порядок знищення та ін.

Об'єм статі не дозволяє навести всі внутрішні та зовнішні фактори, що впливають на функціонування ППО ВДО і УВ(с). Відповідні фактори будуть приведені у наступних статтях та враховані у вхідних даних відповідних методик.

3. Вибір показників кінцевого результату операції

Значення кінцевого результату операції та алгоритм, який забезпечує отримання результатів, в теорії систем звичайно оцінюються за показниками якості операції, до яких в загальному випадку відносять три підгрупи: результативність, ресурсоемність

і оперативність.

Результативність **E** операції обумовлюється одержуванним цільовим ефектом, заради якого функціонує система в цілому.

Ресурсоемність **R** характеризується ресурсами всіх видів (людськими, матеріально-технічними, енергетичними, інформаційними, фінансовими і т.і.), які використовуються для отримання цільового ефекту. Оцінюючи ресурсоемність, необхідно порівнювати потрібний ресурс і той, який є в розпорядженні.

Оперативність **O** визначається витратою часу, потрібного для досягнення мети операції. Ряд авторів пропонують розглядати витрачений час як вид ресурсу і вводять поняття потрібного часового ресурсу і такого, який є в розпорядженні. Для ППО такий підхід досить придатний, але для зручності наступної оптимізації системи доцільно розглядати його окремо.

В загальному випадку оцінювання операційних властивостей системи приводиться як оцінювання двох аспектів: кінцевих результатів операції та алгоритму, який забезпечує отримання результатів.

Розглянемо перший аспект. Оцінка кінцевих результатів операції з ППО (оцінка ступеня реалізації мети (завдань) у цій операції з ППО ВДО і УВ(с)) враховує, що операція проводиться для досягнення певних цілей кінцевих результатів операції. Під кінцевим результатом операції розуміємо ситуацію стану ППО ВДО і УВ(с) та зовнішнього середовища (противника, об'єктів прикриття, угруповань військ (сил)), яка виникає на момент її завершення. Для кількісної оцінки кінцевих результатів операції вводиться поняття показника кінцевого результату операції (ПКРО), який в загальному випадку представляє собою вектор, $W_{\text{пкpo}} = [WE \ WR \ WO]$, компоненти якого: суть показників його окремих властивостей, які відображають вектор результативності **WE**, вектор ресурсоемності **WR** і вектор оперативності **WO** операції.

Розглянемо другий аспект. Оцінка загального алгоритму функціонування ППО, який складається із затверджених методик, настанов, порядків, часткових алгоритмів, кожної елементарної операції, таких як, наприклад, зміна позицій, несення бойового чергування, виявлення цілей, прийняття рішення на знищення цілей, організація взаємодії, розподіл цілей, їх обстріл та ін. Оцінка другого аспекту є провідною при оцінюванні ефективності. Таке твердження базується на теоретичному постулаті, підтверженому практикою: наявність гарного “загального алгоритму” функціонування системи, який здатний адаптуватися до зміни зовнішніх умов (наприклад, дій противників) підвищує впевненість в отриманні потрібних результатів. Загалом, потрібні результати можуть бути отримані і без гарного адаптивного алгоритму,

наприклад, якщо отримані розвідкою чи передбачені детальні плани дій противника. Але імовірність цих випадків невелика. Це положення надзвичайно важливе, оскільки ППО є організаційно-технічною системою і працює в умовах жорстких часових обмежень. Наприклад, для обстрілу захопленого терористами літака потрібно заздалегідь виконати низку процедур з прийняття рішення, а баланс часу такий, що як на повторний обстріл, так і на відміну обстрілу може бути недостатньо часу.

У сукупності результативність, ресурсоемність і оперативність породжують комплексну властивість – ефективність процесу яка характеризується вектором $W_{\text{пкpo}}$, та під якою будемо розуміти ступінь його пристосованості до досягнення поставлених цілей (завдань) в різних умовах обстановки. Точніше кажучи, ця властивість, притаманна тільки окремому виду операцій, наприклад, веденню протиповітряного бою, знищенню захопленого терористами літака, несенню бойового чергування та ін. Вона проявляється лише при функціонуванні системи, якщо система не функціонує чи не знаходиться в готовності, яка дозволяє їй своєчасно реагувати на дії противника, то її ефективність дорівнює нулю. Ця комплексна властивість залежить як від властивостей самої системи (побудови, оснащення, загального алгоритму функціонування, підготовки особового складу і накопичених ресурсів та ін.), так і від зовнішнього середовища (дій противника, цільової та радіоелектронної обстановки, яка ним створюється, погодних умов, рельєфу, об'єкта прикриття та ін.).

Для ППО ВДО і УВ(с) в якості вектора результативності у воєнний час доцільно обрати вектор

$$WE = [Pz \text{ об } (N) \quad Kц \quad Kппо],$$

де $Pz \text{ об } (N) = [Pz \text{ об } (N)_j]$ – вектор ймовірностей збереження об'єктів прикриття (угруповань військ (сил)) при атаці їх нарядом N цілей (основний показник). Індекс j визначає порядковий номер об'єкта (угруповання);

$$Kц = \left[\frac{M_{zn} \text{ ПА}}{N_{ПА}} \quad \frac{M_{zn} \text{ КР}}{N_{КР}} \quad \frac{M_{zn} \text{ ХЦ}}{N_{ХЦ}} \quad \frac{M_{від} \text{ ПА}}{N_{ПА}} \right] -$$

вектор відношення математичного очікування кількості знищених цілей до загальної кількості цілей, які є у противника за типами (ПА – пілотовані апарати; КР – крилаті ракети; ХЦ – хибні цілі (пастки)) і додатковий елемент, який показує частину ПА, що відмовилися від виконання завдання;

$$Kппо =$$

$$= \left[\frac{M_{zn} \text{ КП}}{N_{КП}} \quad \frac{M_{zn} \text{ РЛС}}{N_{РЛС}} \quad \frac{M_{zn} \text{ ЗРК}}{N_{ЗРК}} \quad \frac{M_{zn} \text{ В}}{N_{В}} \quad \frac{M_{zn} \text{ УД}}{N_{УД}} \right] -$$

вектор відношення математичного очікування кількості знищених своїх засобів ППО до загальної кількості засобів ППО за типами (КП та ПНА – командних пунктів і пунктів наведення авіації, РЛС – радіо-

локаційних станцій, ЗРК – зенітних ракетних комплексів, В – винищувачів, УД – ударних літаків, що знищували ЗПН на аеродромах та в місцях базування).

Для ППО ВДО у мирний час оцінювати вектори $Kц$ і $Kппо$ не має сенсу, тому вектор результативності $WE = [Pz \text{ об } (N)]$ складається лише з вектору ймовірностей збереження ВДО.

Для ППО ВДО і УВ(с) в якості вектора ресурсоемності у воєнний час доцільно обрати вектор

$$WR = [MR_{\Pi} \quad MR_{ЗРК} \quad MR_{АЗУ} \quad MR_{ЛР} \quad MR_{БЗ}],$$

де MR_{Π} – вектор математичного очікування процентного розходу палива в частинах та підрозділах по типах палива під час операції з урахуванням знищення противником частини палива на базах (складах) та поповнення за рахунок підвозу;

$MR_{ЗРК}$ – вектор математичного очікування процентного розходу зенітних керованих ракет (ЗКР) в ЗРК по типах ЗКР під час операції з урахуванням знищення противником частини ЗКР на арсеналах (базах, складах) та поповнення за рахунок підвозу;

$MR_{АЗУ}$ – вектор математичного очікування процентного розходу авіаційних засобів ураження (АЗУ) на аеродромах по типах АЗУ під час операції з урахуванням знищення противником частини АЗУ на арсеналах (базах, складах) та поповнення за рахунок підвозу;

$MR_{ЛР}$ – вектор математичного очікування процентного розходу льотного ресурсу (ЛР) по типах літаків під час операції з урахуванням відновлення;

$MR_{БЗ}$ – вектор математичного очікування проценту бойових засобів (БЗ) по типах БЗ, які втратили боєздатність з ресурсних причин і несправності та боєздатність яких не може бути відновлена до початку наступної операції (наступного повітряного удару противника).

Для ППО ВДО у мирний час вектор ресурсоемності доцільно дещо змінити

$$WR = [MR_{\Pi} \quad MR_{ЗРК} \quad MR_{АЗУ} \quad MR_{ЛР} \quad MR_{К}].$$

Замість вектора $MR_{БЗ}$ застосовується вектор витрати коштів $MR_{К}$ за різними статтями, такими як оплата електроенергії на бойове чергування, закупівля або відновлення ВЧ приладів для РЛС та ЗРК, ремонт бойових засобів, організація та несення бойового чергування. Перелік цих статей може бути значно доповнений.

Власне результатом операції є отриманий цільовий ефект, тобто вектор WE і витрату ресурсів – вектор WR можна розглядати як додатковий показник. На погляд автора, ефективність ППО ВДО і УВ(с) слід розглядати інтегрально за весь період війни (конфлікту), а у мирний час ефективність ППО ВДО – за поточний рік. При такому підході, очевидно, що надмірна

витрата ресурсу (а особливо втрати боєкомплекту та палива) в попередніх операціях позначаються на ефективності наступних операцій.

Для ППО ВДО і УВ(с) в якості вектора оперативності у воєнний час доцільно обрати вектор

$$WO = \left[\frac{Mt_{П\ роз}}{t_{Н\ роз}} \quad \frac{Mt_{П\ реар}}{t_{Н\ реар}} \quad \frac{Mt_{П\ відн}}{t_{Н\ відн}} \right],$$

якій містить набір співвідношень математичного очікування потрібного і наявного часу на розгортання угруповання, реакцію угруповання на початок удару ЗПН, відновлення боєздатності угруповання після удару ЗПН до початку нового удару ЗПН.

Цей вектор WO можна розглядати як додатковий результат, який накладає додаткові обмеження. Якщо нам не вдається “вписатися” в наявний час, то ефективність системи буде знижена або навіть взагалі дорівнювати нулю.

Для ППО ВДО у мірний час вектор оперативності буде складатися лише з одного елементу, який відповідає за реагування.

4. Перевірка обраного набору показників кінцевого результату операції на відповідність загальним вимогам до показників кінцевого результату операції

Вибір показників для ППО ВДО і УВ(с) пов'язаний з аналізом великого об'єму погано структурованої інформації і тому була висунута низка вимог, дотримання яких дозволило обґрунтувати можливість застосування показників у представленому завданні оцінювання.

Загальними вимогами до показників кінцевого результату операції для ППО є:

- відповідність показників кінцевого результату операції цілі операції;
- повнота;
- вимірність;
- ясність фізичного змісту;
- відсутність надлишку;
- чуттєвість.

Очевидна відповідність запропонованого в статті показника кінцевих результатів операції основним та додатковим цілям операції. Основна мета операції значною мірою визначається самим призначенням ППО ВДО і УВ(с). Для представлені мети були визначені декілька складників показника кінцевих результатів операції, що забезпечило вимогу повноти зазначеного показника. Як відомо, суть цієї вимоги полягає у тому, що показник кінцевих результатів операції повинен відображати бажані (цільові) і небажані (побічні) наслідки операції за показниками результативності, ресурсоемності і оперативності. У нашому випадку бажані наслідки відображають показники $P_{з об (N)}$ і $K_{ц}$, а небажані показники $K_{ппо}$, WR і WO , вразі якщо ми

“не вписуємося” в наявні часові обмеження.

Правильність вибору складових показника кінцевих результатів операції та їх повноти підтверджуються монотонним характером функції корисності (цінності), яка будується для кожного складника. Якби яка-небудь із функцій не була монотонною, то це означало б, що упущені один чи декілька складників показника кінцевих результатів операції.

Вимірність запропонованих складників показника кінцевих результатів операції підтверджується наявністю систем імітаційного моделювання, які здатні в ході моделювання ППО ВДО і УВ(с) вимірювати запропоновані складники показника кінцевих результатів операції.

Автор прагнув до ясності фізичного змісту кожного із запропонованих елементів показника кінцевих результатів операції, тобто щоб вони вимірювалися за допомогою кількісних мір, доступних для сприймання.

Кожен показник ефективності повинен в обов'язковому порядку мати конкретний фізичний зміст. Конкретний фізичний зміст показників визначається характером і цілями операції, а також якістю системи, яка її реалізує, і зовнішніми впливами.

Розглянемо фізичний зміст основного показника $P_{з об (N)}$ – імовірності збереження об'єкта прикриття при атаці його нарядом N цілей. Врахуємо, що противник проводить свою операцію зі знищення наших об'єктів і угруповань військ (сил). Для кожного об'єкта (угруповання) розраховуються полігонні наряди, необхідні для ураження об'єкта із заданим ступенем (A, B, C) і заданою імовірністю $P(N)$ (як правило, вона дорівнює 0,8 – 0,9). Імовірність того, що засіб ураження знищить об'єкт $P_0 = 1$, оскільки сучасні бойові частини здатні урадити практично всі ВДО, за виключенням декількох сильно захищених КП. Тільки для терористичних атак, коли розрахунок міцності міг проводити непрофесіонал, ця імовірність P_0 може бути меншою. Отже, імовірність ураження об'єкта може бути розрахована як

$$P_{у об} = (1 - P_{рвз(N)}) \cdot P(N) \cdot P_{у},$$

де $P_{рвз(N)}$ – імовірність знищення не менше ніж N цілей до рубіж виконання ними свого завдання ($P_{ВЗ}$).

Тоді імовірність збереження об'єкта дорівнюватиме

$$P_{з об} = 1 - P_{у об} = (1 - P(N)) \cdot P_{у} + P_{рвз(N)} \cdot P(N) \cdot P_{у}.$$

За мирного часу для умов терористичної атаки, коли льотчики-терористи наводять літаки до кінця ($P(N) = 1$) і розрахунок фортифікації об'єкта зроблений правильно, $P_{у} = 1$ імовірність збереження об'єкта при атаці N цілей дорівнює імовірності

знищення N цілей до РВЗ $P_{рвз}(N)$.

У военний час можна стверджувати, що імовірність збереження об'єкта P_z об (N) при атаці N цілей буде не менше, ніж імовірність знищення N цілей до РВЗ $P_{рвз}(N)$. Імовірність $P_{рвз}(N)$ отримується шляхом проведення оперативно-тактичних розрахунків і моделювання нальотів засобів повітряного нападу на об'єкт, що прикривається, з різних напрямків і визначення кількості стрільб для кожного типу вогневого засобу з кожного напрямку для набору зрізів висот 50 м, 100м, 200м, 500м, 1км, 5км, 10 км.

Після визначення кількості стрільб, розрахунок імовірності $P_{вдс}(N)_{H_i, \beta_j}$ виконується згідно з функцією біноміального розподілу для кожної висоти H_i та азимуту β_j на основі кількості стрільб $N_{st_s}(H_i, \beta_j)$, які можуть здійснити ВК кожним s -м типом засобів ураження для даної висоти і азимута та імовірності ураження кожним s -м типом засобів ураження за одну стрільбу p_s .

$$P_{рвз}(N)_{H_i, \beta_j} = \sum_{i_1=0}^{N_{st_1}(H_i, \beta_j)} \sum_{i_2=0}^{N_{st_2}(H_i, \beta_j)} \dots \sum_{i_k=0}^{N_{st_k}(H_i, \beta_j)} A \cdot P_1(i_1) \cdot P_2(i_2) \cdot \dots \cdot P_k(i_k),$$

де $A = \begin{cases} 1, & \text{якщо } N \leq i_1 + i_2 + \dots + i_k, \\ 0, & \text{якщо } N > i_1 + i_2 + \dots + i_k \end{cases}$;

$$P_s(i_s) = C_{N_{st_s}(H_i, \beta_j)}^{i_s} \cdot p_s^{i_s} \cdot (1 - p_s)^{N_{st_s}(H_i, \beta_j) - i_s};$$

p_s – імовірність ураження S -м типом засобу ураження;

$N_{st_s}(H_i, \beta_j)$ – кількість стрільб S -м типом засобу ураження.

Якщо, при атаці об'єкту N цілей з азимуту β та на висоті H імовірність знищення всіх N цілей до моменту досягнення ними РВЗ перевищує встановлений поріг, то з цього азимуту та на цій висоті об'єкт вважається прикритим. В іншому випадку об'єкт з азимуту β та на висоті H вважається не прикритим.

Коефіцієнт прикриття об'єкту $K_{пр}(N, P_{порогу})$ при забезпеченні заданої порогової імовірності ($P_{порогу}$) знищення не менш ніж N цілей до РВЗ визначається виразом

$$K_{пр}(N, P_{порогу}) = \frac{1}{NORM} \cdot \sum_{i=1}^{H_n} \sum_{j=1}^{\beta_n} W_{H_i, \beta_j} \cdot K_{H_i, \beta_j},$$

де $K_{H_i, \beta_j} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } P_{рвз}(N)_{H_i, \beta_j} \geq P_{порогу} \\ 0, & \text{якщо } P_{рвз}(N)_{H_i, \beta_j} < P_{порогу} \end{cases}$ – признак

прикриття ВДО на висоті H_i та з азимуту β_j ;

W_{H_i, β_j} – ваговий коефіцієнт важливості прикрит-

тя на висоті H_i та з азимуту β_j (встановлюється при аналізі найбільш імовірних напрямків заходу цілі на ВДО, а у випадку якщо аналіз не проводився то дорівнює 1);

$$NORM = \sum_{i=1}^{H_n} \sum_{j=1}^{\beta_n} W_{H_i, \beta_j} - \text{коефіцієнт вагового но-}$$

рмування, якій дорівнює сумі коефіцієнтів важливості прикриття на всіх висотах та з усіх азимутів. Якщо всі висоти та азимуту рівно важливі, тобто всі W_{H_i, β_j} дорівнюють 1, то $NORM = H_n \cdot \beta_n$;

β_n – кількість азимутальних напрямків, що підлягають оцінці;

$\beta_j = j \cdot \Delta\beta$ – j -е значення азимуту, що підлягає оцінці;

$$\Delta\beta = 360/\beta_n - \text{шаг оцінки по азимуту};$$

H_n – кількість значень висот, що підлягають оцінці;

H_i – i -й елемент вектору висот, для яких проводиться оцінка прикриття

$$H = [50\text{м}, 100\text{м}, 200\text{м}, 500\text{м}, 1\text{км}, 5\text{км}, 10\text{км}, 20\text{км}].$$

Рішенням відповідного командира (начальника) перелік висот, для яких проводиться оцінка може бути змінений.

Коефіцієнт прикриття об'єкта має наступний фізичний смисл – він вказує з якої частини азимутальних напрямків та висот з імовірністю не нижче порогової забезпечується збереження об'єкта якщо його атакує N цілей. Якщо цей коефіцієнт помножити на 100% то ми отримуємо відсоток напрямків, з яких забезпечується прикриття ВДО. Цей інтегрований показник може бути особливо корисним при оцінці прикриття ВДО від терористичних атак коли, безумовно, повинно бути забезпечене прикриття з усіх висот і напрямків $K_{пр}(N, P_{порогу}) = 1$.

Слід відмітити, що медіана біноміального розподілу або точно співпадає з математичним очікуванням, або приймає сусідні (більше або менше) ціле значення. Враховуючи, що медіана відповідає $P_{рвз}(N) = 0,5$, тому, значення M математичного очікування числа знищених цілей (МОЧ) є часним випадком наведеного нами показника P_z об (N). Фактично кількісне значення МОЧ означає наряд цілей $N \approx M$, який ми не допустимо до РВЗ з імовірністю, яка приблизно дорівнює 0,5. Таким чином, ця стаття є подальшим розвитком підходів, викладених в [13].

Розглянемо фізичний зміст і порядок розрахунку додаткових показників $K_{ц}$ і $K_{ппо}$. Ці показники характеризують процент втрат противника і своїх сил та є досить корисними для аналізу напрямку розвитку ситуації під час війни (конфлікту). Якщо ми в кожній операції втрачаємо великий відсоток, то рано чи пізно

всі об'єкти (угруповання військ (сил)) залишаться без прикриття і все одно будуть знищені. Таким чином, інтегрально мета захисту ВДО і УВ(с) не буде досягнута. Розраховуються ці показники за результатами проведеного імітаційного моделювання.

Потреба ясності фізичного змісту обмежує можливість агрегування (об'єднання) окремих показників в один критерій, що, у свою чергу, не дозволило, на погляд автора, виконати подальшу мінімізацію показника кінцевих результатів операції. При цьому автор усвідомлює, що зі зменшенням кількості складників показника кінцевих результатів операції різко зменшується трудомісткість побудови функції ефективності.

Запропоновані складові показника кінцевих результатів операції мають відносно високу чутливість до змін значень керованих характеристик системи.

Автор розуміє, що набір складових показника кінцевих результатів операції може бути визначений різноманітними способами, оскільки до сьогодні ще не існує формальної теорії, яка забезпечувала б об'єктивне вирішення завдання вибору показника кінцевих результатів операції. Крім того командувачу, які приймає рішення на операцію повинно надаватися право самостійно визначати пріоритети (вагові коефіцієнти), навіть до повного ігнорування деяких показників кінцевого результату операції, оскільки само він несе відповідальність за успіх операції в цілому.

5. Вибір критерію ефективності

Вибір критерію ефективності – центральний, найвідповідальніший момент дослідження будь-якої системи.

Вважається, що набагато корисніше знайти неоптимальне рішення правильно обраному критерію, ніж навпаки – оптимальне при неправильно обраному критерії.

Процес відбору критерію ефективності, як і процес визначення переліку цілей (завдань), є значною мірою суб'єктивним, творчим, потребуючим в кожному окремому випадку індивідуального підходу. Найбільшою складністю відрізняється вибір критерію ефективності рішень в операціях, які реалізуються ієрархічними системами, до яких відносяться ППО ВДО і УВ(с).

Під критерієм ефективності прикриття (грецькою *kriterion* — признак для судження) будимо розуміти признак, підставу, правило прийняття рішення з оцінки співвідношення кінцевого результату функціонування системи (або результату операції або результату рішення на операцію) та поставлених цілей (завдань).

В теорії систем виділяють критерій придатності (достатності) та критерій оптимальності.

В нашому випадку для критерію придатності (достатності) при оцінці прикриття ВДО і УВ(с) ми

маємо два судження (дві оцінки):

1. Система придатна для прикриття об'єкта (операція з прикриття є достатньо ефективною, прийняте рішення на операцію є достатньо ефективним);

2. Система не придатна для прикриття об'єкта (операція з прикриття є не достатньо ефективною, прийняте рішення на операцію є не достатньо ефективним).

Цей вид критерію іноді ще називають пороговим, оскільки він встановлює один або декілька порогів для окремих показників кінцевого результату операції при перевищенні яких приймається рішення про достатню ефективність операції в цілому.

Критерій придатності (достатності) для оцінки ефективності імовірнісної операції має наступний математичний вираз

$$W_{\text{пкроі}} \geq W_{\text{пкро порогі}}$$

де $W_{\text{пкроі}}$ – і-й елемент вектору ПКРО;

$W_{\text{пкро порогі}}$ – і-й елемент вектору порогів для ПКРО;

$i \in [1, n_l]$; n_l – довжина вектора ПКРО.

Цей вираз визначає правило, за яким операція вважається достатньо ефективною, якщо імовірність досягнення цілі за кожним показником ефективності не менше потрібної імовірності досягнення цілі за цими показниками. В цьому контексті математичне очікування приблизно відповідає імовірності 0,5.

Суттєвим недоліком цього класичного трактування порогового критерію є те що воно не дозволяє порівнювати між собою різні варіанти задумів (планів) операцій. Автор пропонує модернізувати цей критерій до виду

$$IE = \text{NORM} \cdot \sum_{i=1}^{n_l} W_i \cdot \frac{W_{\text{пкроі}}}{W_{\text{пкро порогі}}},$$

де W_i – вагові коефіцієнти, які встановлює командувач, який приймає рішення на операцію;

$\text{NORM} = 1 / \sqrt{\sum_{i=1}^{n_l} W_i}$ – нормуючий ваговий коефіцієнт, який дозволяє довільно призначати вагові коефіцієнти W_i .

Таким чином за інтегральним показником ефективності операції IE можливо порівнювати різні варіанти задумів (планів) операцій.

Автор пропонує при визначенні значень вагових коефіцієнтів W_i в залежності від співвідношення своїх сил та противника керуватись наступними правилами.

1. Якщо можливості ППО ВДО і УВ(с) суттєво перевищують можливості противника (наприклад, терористів), то розглядається тільки основний пока-

зник – вектор результативності $WE = [Pз об (N)]$, а допоміжні або не враховуються, або перевіряються лише на перевищення порогу, або для елементів вектору $WE = [Pз об (N)]$ вагові коефіцієнти $W_i = 100$, а для елементів векторів WR та WO вагові коефіцієнти $W_i = 1$.

2. Якщо можливості ППО ВДО і УВ(с) дорівнюють можливостям ударного угруповання противника або перевага противника не більша, ніж подвійна, вагові коефіцієнти як правило повинні відрізнятися між собою не більше ніж у 20 разів.

3. У випадку суттєвої (трьох-чотирьох кратної) переваги противника, для елементів векторів K_i і i і K_0 вагові коефіцієнти $W_i = 100$, а для всіх інших $W_i = 1$.

В окремих випадках, таких як війна на виснаження (або різке скорочення фінансування у мірний час) максимальні вагові коефіцієнти можуть надаватися елементам векторів WR та WO .

Перевагами цього типу критерію є:

простота реалізації та помірні обчислювальні витрати, які дозволяють вже зараз його використовувати в ритмі роботи штабів в складній обстановці, яка швидко змінюється;

неоднозначність (непередбачуваність) наших рішень для противника.

Незначним на погляд автора недоліком є лише відсутність гарантії оптимальності використання сил та засобів ППО.

Для критерію оптимальності при оцінюванні прикриття ВДО і УВ(с) ми маємо два судження (дві оцінки):

1. Система оптимальна для прикриття об'єкта (операція з прикриття є оптимальною, прийняте рішення на операцію є оптимальним);

2. Система не є оптимальною для прикриття об'єкта (операція з прикриття не є оптимальною, прийняте рішення на операцію не є оптимальним).

Цей вид критерію іноді ще називають оптимізаційним, оскільки він потребує знаходження оптимального значення для всіх без виключення окремих показників кінцевого результату операції для прийняття рішення про оптимальну ефективність операції в цілому.

Критерій оптимальності для оцінки щодо оптимальності імовірнісної операції має наступний математичний вираз

$$W_{\text{ікроі}} = W_{\text{ікро оптимальніі}}$$

де $W_{\text{ікро оптимальніі}}$ – оптимальне значення і-го елемента вектору ПКРО.

Цей вираз визначає правило, за яким операція вважається оптимальною, якщо імовірність досягнення цілі за показниками ефективності дорівнює

імовірності досягнення цілі з оптимальним значенням цих показників.

Перевага цього критерію – гарантії оптимальності використання сил та засобів ППО на погляд автора повністю нівелюються його недоліками. Першим недоліком є складність реалізації та непомірні обчислювальні витрати, які не забезпечуються не тільки сучасною, але і обчислювальною технікою, що буде створена в найближчі роки.

Це не дозволяє використовувати цей критерій не тільки в ритмі роботи штабів, але і в пошукових наукових дослідженнях. Другий недолік – це 100% передбачуваність наших рішень для противника, оскільки оптимальним може бути лише одне рішення що практично забороняє його використання навіть у майбутньому.

Для науково-дослідних установ у випадках достатньої кількості часу автор пропонує при створенні дослідних систем моделювання використовувати критерій часткової оптимізації.

Слід звернути особливу увагу на те, що співвідношення сил визначає порядок використання основного і допоміжних показників для прийняття рішення за цим методом.

Якщо можливості ППО ВДО і УВ(с) суттєво перевищують можливості противника (наприклад, терористів), то розглядається тільки основний показник $WE = [Pз об (N)]$, а допоміжні беруться в якості умов, що дисциплінують.

Якщо можливості ППО ВДО і УВ(с) дорівнюють можливостям ударного угруповання противника чи перевага противника не більша, ніж подвійна, то доцільно здійснювати покроковий пошук прийнятних рішень у наступному порядку:

1. Оптимізуємо ППО за основним показником $Pз об (N)$;

2. Визначаємо, яке зниження показника $\Delta Pз об (N)$ ми собі можемо дозволити, щоб знайти найкраще значення $K_{\text{ппо}}$, за якого $Pз об (N) \geq Pз об (N)_{\text{max}} - \Delta Pз об (N)$.

3. Аналогічно визначаємо $\Delta K_{\text{ппо}}$ і оптимізуємо $Kц$ в межах $\Delta Pз об (N)$ і $\Delta K_{\text{ппо}}$.

У випадку суттєвої (трьох-чотирьох кратної) переваги противника, доцільно вже основний показник брати в якості умови, що дисциплінує, а для $\Delta K_{\text{ппо}}$ і $Kц$ проводити покроковий пошук прийнятного рішення, аналогічний тому, що був наведений вище.

В окремих випадках в ППО ВДО і УВ(с) в якості основного показника ефективності можуть розглядатися показники ресурсоемності чи оперативності, але якість операції в цілому не може бути характеризована жодним з перерахованих властивостей окремо, а визначається схоже до показника кінцево-

го результату операції, їх сукупністю

$$W_{\text{пкpo}} = [WE \quad WR \quad WO].$$

Висновки

Хоча конкретні операції достатньо різноманітні, існує низка загальних принципових положень, якими варто керуватися при формуванні системи критеріїв ефективності рішень.

На основі системного підходу і методів дослідження операцій автором запропоновані показники і критерії оцінки ефективності прикриття важливих державних об'єктів і угруповань військ (сил), проведення перевірки обраного набору показників кінцевого результату операції на відповідність загальним вимогам до показників кінцевого результату операції.

З огляду на те, що в ході ППО проводяться імовірнісні операції в умовах ризику, показники кінцевих результатів операції є дискретними випадковими величинами. Тому запропоновані досить гнучкі критерії ефективності прикриття важливих державних об'єктів і угруповань військ (сил), які не обмежують творчої ініціативи командувача та надають можливості до подальшого розвитку оперативного мистецтва.

Список літератури

1. Неупокоев Ф.К. Противовоздушный бой / Ф.К. Неупокоев. – М.: Воениздат, 1989. – 162 с.
2. Ковтуненко А.П. Основы теории построения и моделирования функционирования сложных систем вооружения / А.П. Ковтуненко, Н.А. Шеринев // Системы зенитного управляемого ракетного оружия: учебник. – Х: Изд-во ВИРТА им. Л.А. Говорова, 1992. – 233 с.
3. Проектирование зенитных управляемых ракет: учебник / И.И. Архангельский, П.П. Афанасьев, Е.Г. Болотов, И.С. Голубев, А.М. Матвеев, В.Я. Мизрохи, В.Н. Новиков, В.Г. Светлов; под ред. И.С. Голубева и В.Г. Светлова. Изд. второе, перераб. и доп. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 732 с.
4. Моделивання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку):

моногр. / В.П. Городнов, Г.А. Дробаха, М.О. Єрмошин, Є.Б. Смірнов, В.І. Ткаченко. – Х.: ХВУ, 2004. – 410 с.

5. Синтез адаптивних структур системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів і військ та оцінка її ефективності: моногр. / А.Я. Торочин, І.О. Куріченко, М.О. Єрмошин, Г.А. Дробаха, М.П. Долина. – Х.: ХУПС, 2006. – 349 с.

6. Нестеров В.А. Основы проектирования ракет класса «воздух-воздух» и авиационных катапультных установок для них: учебник / В.А. Нестеров, Э.Е. Пейсах, А.Л. Рейдель; под. ред. В.А. Нестерова. – М.: Изд-во МАИ, 1999. – 792 с: ил.

7. Пестов М.Д. Боевая эффективность и надежность ЛА: Методы расчетов: учебн. пособ. для лабораторных и курсовых работ / М.Д. Пестов – М.: Изд-во МАИ, 2002. – 100 с: ил.

8. Вибір показників ефективності для оцінки взаємодії зенітних ракетних військ та винищувальної авіації / С.І. Бурковський, М.О. Стахеев, О.М. Місюра, Ю.І. Опалев, Д.А. Півнів // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2007. – Вип. 5(63). – С. 15-18.

9. Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Торочин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник, Р.Е. Пащенко та ін. – К.: МО України, Х: ХВУ, 2003. – 368 с.

10. Актуальные вопросы оценки эффективности противоздушного боя / А.Б. Скорик, В.В. Воронин, А.А. Зверев, О.Ф. Галицкий // Зб. наук. пр. Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 3(25). – С. 8-14.

11. Вентцель Е.С. Введение в исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1964. – 388 с.

12. Демидов Б.А. Методы военно-научных исследований. Ч. 1 / Б.А. Демидов. – Х. ВИРТА ПВО, 1987. – 673 с.

13. Онищенко С.І. Підходи до вибору критеріїв оцінювання якості прикриття важливих державних об'єктів / С.І. Онищенко, О.М. Жарик, В.В. Коваль, Д.В. Дяченко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2011. – № 1(5). – С. 4-7.

Надійшла до редколегії 26.04.2012

Рецензент: д-р техн. наук проф. С.П. Лещенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ПОКАЗАТЕЛИ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИКРЫТИЯ ВАЖНЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ И ГРУППИРОВОК ВОЙСК (СИЛ)

А.Н. Жарик

С использованием системного подхода и методов исследования операций предложен единственный вектор показателей и предложена система критериев оценки эффективности функционирования ПВО важных государственных объектов для прекращения террористических актов с использованием летательных аппаратов в мирное время, прикрытие ВДО и группировок войск (сил) в военное время.

Ключевые слова: показатель, критерий, эффективность, эффект, операция, результат, ресурсы, ПВО, ВДО.

INDEXES AND CRITERIA OF ESTIMATION OF EFFICIENCY OF PROTECTION OF IMPORTANT STATE OBJECTS AND GROUPMENTS OF TROOPS (FORCES)

О.М. Zharik

With the use of approach of the systems and methods of analysis of operations the unique vector of indexes is offered and the system of criteria of estimation of efficiency of functioning of air DEFENCE of important state objects is offered for stopping of assassinations with the use of aircrafts in a peace-time, protection of VDO and groupments of troops (forces) in a war-time.

Keywords: index, criterion, efficiency, effect, operation, result, resources, air DEFENCE, VDO.