

МЕТОДИКА ДИНАМІЧНОГО РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ У СПІЛЬНИХ ДІЯХ НАЗЕМНИХ І ПОВІТРЯНИХ ЗАСОБІВ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ

Досвід російсько-української війни та інших сучасних збройних конфліктів у світі свідчить, що протиповітряна оборона відіграє значну роль під час бойових дій. Зазвичай, до складу системи протиповітряної оборони входять вогневі засоби наземного і повітряного базування, спільні дії яких дають змогу забезпечити потрібний рівень ефективності її функціонування. Але обмежена координація спільних дій може не лише знизити їх ефективність, а й призвести до конфліктних ситуацій або таких небезпечних явищ як «дружній вогонь». Існуючі дослідження стосовно особливостей реалізації спільних проєктів виконавцями в умовах невизначеності, не можуть напряму бути використані під час планування та ведення бойових дій різнорідними вогневими засобами, особливо за таких динамічних змін обстановки, якими супроводжується протиповітряна оборона. Відповідно, постає завдання вирішення конфлікту інтересів вогневих складових системи протиповітряної оборони, який може полягати в раціональному розподілі ресурсів між ними. В статті розроблено методiku визначення оптимальних обсягів ресурсів, які доцільно розподілити наземним і повітряним вогневим засобам протиповітряної оборони під час спільного виконання ними завдань в динаміці бойових дій, а звідси, і потрібної для цього кількості наземних і повітряних вогневих засобів. Під ресурсом у статті розуміється час та (або) простір, які характеризують межі виконання завдань. Зазначена методика використовує методи теорії прийняття рішень, теорії ігор, управління проєктами та комплексно враховує не лише середній ресурс, в якому здатний виконувати завдання один вогневий засіб, але розглядає показники раціональності його використання та ризиків, викликаних відхиленням від призначеного вогневим засобом обсягу ресурсу. На підставі означених показників формуються пріоритети під час розподілу ресурсів, що будуть визначати частку завдань, виділену на окремий вогневий засіб, а звідси і на наземну та повітряну складові системи протиповітряної оборони. Крім того, для врахування можливих відхилень у процесі визначення часток участі наземних і повітряних засобів у спільному виконанні завдань з протиповітряної оборони, обґрунтовано спосіб визначення області оптимального розподілу ресурсу під час розрахування потрібної кількості вогневих засобів. Наведена методика може бути застосована в алгоритмах систем підтримки прийняття рішень, зокрема, під час визначення варіантів розподілу зусиль між наземними та вогневими засобами протиповітряної оборони під час їхніх спільних дій.

Ключові слова: протиповітряна оборона, вогневий засіб, зенітні ракетні війська, винищувальна авіація, спільні дії, взаємодія, розподіл ресурсів, конфлікт інтересів.

Вступ

Постановка проблеми. Російсько-українська війна довела необхідність розгортання та підтримання функціонування системи протиповітряної оборони (далі – ППО), яка була б здатна ефективно знищувати наявні та перспективні засоби повітряного нападу. Складові системи ППО, такі як підсистеми прикриття об'єктів наземними та повітряними вогневими засобами (відповідно зенітного ракетно-артилерійського та авіаційного прикриття), можуть виконувати завдання як окремо, так і спільно. В останньому випадку простір спільного виконання завдань зазвичай обмежується зоною дії наземних вогневих засобів ППО. Спільне застосування наземних і повітряних вогневих засобів дає змогу не тільки забезпечити визначений рівень ефективності системи ППО, але

й за певних умов може призвести до так званого «синергетичного» ефекту. Разом з тим, недостатньо якісна організація спільного застосування в одній зоні різних вогневих засобів може не тільки знизити ефективність виконання спільних завдань (наприклад, шляхом обмеження дій вогневих засобів-партнерів), але й призвести до таких небезпечних явищ, як «дружній вогонь».

Отже, між складовими системами ППО може виникнути конфлікт інтересів під час розподілу ресурсів. Водночас, під ресурсом доцільно розуміти «запаси чого-небудь, які можна використати в разі потреби; засіб, можливість, якими можна скористатися в разі необхідності» [1] або «щось, що може бути використане для досягнення мети; корисна або цінна властивість чи якість, що мають людина або організація» («something that can be used to help achieve an aim; a useful or valuable possession or quality that a person

or organization has») [2]. Тому, це можуть бути будь-які вимірювальні засоби, що потрібні для виконання завдань і підлягають розподілу між виконавцями. Оскільки розглядаються вогневі складові системи ППО під час виконання завдань (веденні бойових дій стосовно відбиття ударів повітряного противника), то до ресурсів слід віднести: особовий склад, озброєння, боєприпаси, цілі, час та простір.

Водночас озброєння та боєприпаси для наземних і повітряних вогневих засобів різні та підлягають розподілу тільки між однотипними підрозділами, а особовий склад має підготовку на конкретні типи озброєння. Тому завданням особи, яка приймає рішення під час управління системою ППО, буде розподіл інших типів ресурсів: цілей, часу та простору. Але слід зауважити, що цілі є нестабільним ресурсом, кількість якого важко спрогнозувати, тому він буде підлягати розподілу тільки по мірі їх виявлення, що є окремим об'єктом для вивчення. До того ж, одночасна робота по цілях наземних і повітряних вогневих засобів ППО в одній зоні супроводжується високою ймовірністю «дружнього вогню».

Тому в подальшому дослідженні будуть розглядатися такі типи ресурсу, як простір і час. Їх особливістю під час ведення бойових дій є потреба повного розподілу, оскільки існуючий нерозподілений простір або час можуть призвести до того, що цим скористається противник у своїх інтересах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Завдання розподілу ресурсів між виконавцями розглядається у джерелах як військової [3–6], так і цивільної спрямованості, зокрема в економічній сфері [7] та сфері інформаційних технологій [8]. Але вказані джерела не можуть бути напряму використані для розподілу ресурсів між наземними та повітряними вогневими засобами. Так, в [3] враховується динаміка бойових дій та вплив втрат від противника, але розглядається в першу чергу розподіл бойових засобів між підрозділами, які є однорідними, що не зовсім підходить для ситуації застосування різнорідних сил. У [7] розглядається такий важливий показник, як ефективність використання ресурсів виконавцем, а також штрафи за відхилення використаних ресурсів від заявлених. Але виконавці в цьому випадку теж є однорідними. До того ж не розглядаються ризики, викликані взаємним впливом виконавців один на одного. Автором [8] запропоновано врахування фактору невизначеності (новизни) у процесі планування термінів спільного проєкту для групи виконавців і викликаних цим ризиків. Проте вказаний підхід більше стосується етапу планування проєкту і не розглядає можливі зміни в динаміці його виконання. Отже, існує ряд досліджень стосовно особливостей спільного виконання завдань виконавцями в умовах невизначеності, але запропоновані в них підходи не можуть бути напряму застосовані у процесі планування та ведення спільних дій різнорідними вогневими

засобами, особливо за таких динамічних змін обстановки, якими супроводжується ППО. Адже, під час виконання завдань щодо ураження противника, зокрема повітряного противника, розглядаються зазвичай розподіл озброєння, боєприпасів, особового складу, і частково – часу. Разом із тим, простір як ресурс не розглядається, а розподіляється директивно з урахуванням існуючих нормативів та методик. Розподіл часу при плануванні бойових дій здійснюється зазвичай вручну, спираючись на середньостатистичні показники та нормативи. Тому, подальший розвиток науково-методичного апарату, з метою можливості його використання під час розподілу ресурсів між різнорідними засобами ППО у процесі виконання ними спільних завдань, є важливим науковим завданням.

Метою статті є розроблення методики динамічного розподілу ресурсів між наземними та повітряними вогневими засобами протиповітряної оборони під час їх спільних дій для подальшого застосування в алгоритмах систем підтримки прийняття рішень при визначенні варіантів розподілу зусиль між наземними та вогневими засобами протиповітряної оборони.

Виклад основного матеріалу дослідження

Розподіл ресурсів в економіці та сфері інформаційних технологій (далі – ІТ) зазвичай починається з отримання заявок від виконавців (визначення потрібних ресурсів в ІТ). Водночас слід враховувати, що виконавці в своїх інтересах будуть прагнути до найбільшої кількості заявленого ресурсу [7; 8].

На відміну від цієї ситуації, командири вогневих підрозділів будуть одночасно прагнути максимальної кількості озброєння та боєприпасів для виконання завдань, але мінімальної частки залучення у виконанні спільних завдань для найточнішого їх виконання з мінімальною витратою боєприпасів та збереження готовності до подальших бойових дій.

В обох випадках перед особою, що приймає рішення (керівником, командиром, командувачем, в подальшому – командувач) постає завдання – розподілити наявний ресурс так, щоб були задіяні всі учасники за оптимальної ефективності реалізації проєкту (тобто забезпеченні ефективності ППО). Тому для подальшого дослідження доцільно уточнити поняття ефективності.

Загально прийнято визначати ефективність як співвідношення між досягненим результатом та використаними ресурсами [9], а за умови, що результатом роботи системи ППО буде кількість уражених повітряних цілей, то ефективність системи ППО доцільно визначати за виразом:

$$E_{\text{ППО}} = \frac{N_{\text{ц}}}{R}, \quad (1)$$

де $N_{\text{ц}}$ – кількість уражених цілей;

R – витрачений ресурс.

Для подальшого дослідження доцільно ввести такі обмеження та припущення:

керівництво силами та засобами ППО у процесі відбиття удару повітряного противника здійснюється централізовано однією особою, яка приймає рішення, в тому числі на розподіл ресурсу між наземними та повітряними вогневими одиницями (далі – ВО);

в зоні бойових дій наземні ВО одного типу розташовані рівномірно;

повітряні засоби ППО, попередньо виведені в точку обстрілу цілі, або час їх виведення на ціль розраховуються заздалегідь так, що в потрібний момент бойових дій вони здатні виконувати поставлені завдання без додаткових затримок;

підтримка прийняття рішень і постановка завдань підлеглим силам та засобам здійснюється із застосуванням автоматизованих систем управління або спеціалізованого програмного забезпечення, тому час на постановку завдань вогневим одиницям не враховується;

під час спільних дій наземних та повітряних засобів ППО можливі ризики втрат своїх ВО, в тому числі від «дружнього вогню».

Оскільки угруповання ППО складається з наземних і повітряних вогневих засобів, то сукупний ресурс буде розподілятися між ними та мати такий вигляд:

$$R = R_{\text{нз}} + R_{\text{пз}}, \quad (2)$$

де $R_{\text{нз}}$ – ресурс, виділений наземним вогневим засобам;

$R_{\text{пз}}$ – ресурс, виділений повітряним вогневим засобам.

Ураховуючи критерій оптимальності, командувач буде прагнути до максимізації сукупної ефективності ППО:

$$E_{\text{ППО}} = E_{\text{нз}}(R_{\text{нз}}) + E_{\text{пз}}(R_{\text{пз}}) \rightarrow \max \quad (3)$$

де $E_{\text{нз}}$ – вклад наземних вогневих засобів в сукупну ефективність;

$E_{\text{пз}}$ – вклад повітряних вогневих засобів в сукупну ефективність.

Але необгрунтоване збільшення призначеного кожній складовій ресурсу в цьому випадку призведе до падіння ефективності за однакової кількості знищених цілей. Ураховуючи приблизно постійне значення ресурсу (розміри зони бойових дій або час бойових дій), графік ефективності кожної складової ППО залежно від призначеного їй ресурсу, в узагальненому і спрощеному випадку, буде мати вигляд, наведений на рис. 1.

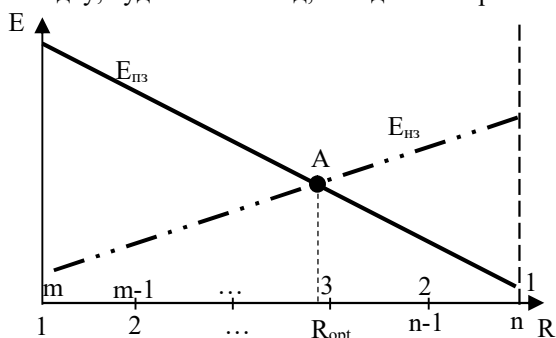


Рисунок 1 – Залежність ефективності ППО від виділеного вогневим засобам ресурсу

Тобто ресурс (призначений простір, час) поділено на однакові частини, починаючи з 1 (оскільки з нульовим ресурсом вираз (1) не має ані математичного, ані логічного розв'язання), для наземних засобів пронумерованих під горизонтальною віссю (від 1 до n ВО), а для повітряних – над нею (від 1 до m ВО). Ефективність кожної складової $E_{\text{нз}}$, $E_{\text{пз}}$ в одиниці ресурсу може приймати різне значення, що відображається нахилом відповідної лінії на графіку. Тоді в певній точці (А) буде спостерігатися оптимальне співвідношення виділених (призначених) для кожної складової ресурсів.

На практиці ефективності застосування вогневих засобів на одиницю ресурсу наврядчи будуть мати лінійну залежність, ураховуючи, що кількість знищених цілей $N_{\text{ц}}$ має випадковий характер і її доречно замінити на математичне очікування кількості знищених цілей $M_{\text{ц}}$.

Крім того, розподіл ресурсу, що відповідає точці А, не завжди можна реалізувати на практиці, оскільки складові системи ППО мають різні бойові можливості. Це буде впливати на їх часові та просторові показники, відповідно кількість частин ресурсу для цих складових буде відрізнятись ($n \neq m$), тому доцільно розглядати не точне значення оптимального розподілу ресурсу R_{opt} для точки А, а певну область ΔR_{opt} , в межах якої можна здійснити оптимальний розподіл ресурсу без суттєвого впливу на сукупну ефективність ППО (рис. 2).

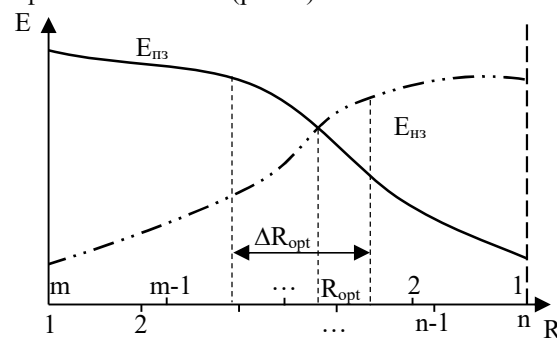


Рисунок 2. Визначення оптимальної області розподілу ресурсу

Але не варто забувати про взаємний вплив наземних та повітряних засобів один на одного у процесі спільних дій в одній зоні, який може виражатися у взаємних обмеженнях, а у випадку недостатньо якісної організації – в небезпеці «дружнього вогню». Отже, потрібно прагнути такої рівноваги в розподілі ресурсу, після досягнення якої учасникам ППО буде не вигідно (і небезпечно) перевищувати свою виділену частку ресурсу. За таких умов припускається, що кожен учасник дотримуватиметься (принаймні, до наступного керівного впливу) визначеної стратегії, що призводить до доцільності застосування

критерію рівноваги Неша [10]. Одночасно, необхідність оптимізації в певній області рішень указує на потребу визначити величину цієї області.

Отже, величина оптимальної області розподілу ресурсу буде залежати від просторових, часових бойових можливостей вогневих засобів ППО. Також, у процесі її визначення доцільно враховувати ймовірні витрати (втрати) озброєння та боеприпасів під час бойових дій, що може призвести до тимчасового виходу з ладу окремих вогневих засобів. Тому, у випадку розподілу простору між n наземними засобами і m повітряними засобами протиповітряної оборони

$$\Delta R_{opt} = \Delta V_{opt} = f(V_{Hz i}, V_{Pz j}, M_{Hz}^{BTP}, M_{Pz}^{BTP}), \quad (4)$$

а для розподілу часу:

$$\Delta R_{opt} = \Delta T_{opt} = f(T_{CuHz i}, T_{CuPz j}, M_{Hz}^{BTP}, M_{Pz}^{BTP}), \quad (5)$$

де $V_{Hz i}$ – об'єм простору, в якому діє i -й наземний вогневий засіб ($i = \overline{1, n}$). Цей об'єм є зоною ураження наземного вогневого засобу;

$$\Delta V_{opt} = \begin{cases} \max \left(\sum_{i=1}^n V_{Hz i}; \sum_{j=1}^m V_{Pz j} \right) & \text{при } M^{BTP} > 0 \\ \max(V_{Hz i}; V_{Pz j}) & \text{при } M^{BTP} = 0 \end{cases}. \quad (6)$$

Для розподілу часу – вираз (7):

$$\Delta T_{opt} = \begin{cases} \max(M_{Hz i}^{BTP} \cdot T_{CuHz i}; M_{Pz j}^{BTP} \cdot T_{CuPz j}) & \text{при } M^{BTP} > 0 \\ \max(T_{CuHz i}; T_{CuPz j}) & \text{при } M^{BTP} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Вирази (6) і (7) мають сенс за умов потрапляння в область оптимального розподілу ресурсу цілої кількості вогневих засобів (наземних і повітряних). Використання ресурсу кожним учасником ППО можна характеризувати коефіцієнтом раціонального використання призначеного ресурсу, а саме:

$\gamma_{Hz i}$ – для наземних вогневих засобів;

$\gamma_{Pz j}$ – для повітряних вогневих засобів ($\gamma = \overline{0,1}$),

а кожному підрозділу виділяється кількість ресурсу $r_{Hz i}$ та $r_{Pz j}$ відповідно. Тоді вираз (3) буде мати вигляд:

$$E_{ППО} = \sum_{i=1}^n E_{Hz i}(r_{Hz i}, \gamma_{Hz i}) + \sum_{j=1}^m E_{Pz j}(r_{Pz j}, \gamma_{Pz j}) \quad (8)$$

Водночас потрібно дотримуватись умови повного використання ресурсу:

$$\sum_{i=1}^n \gamma_{Hz i} \cdot r_{Hz i} + \sum_{j=1}^m \gamma_{Pz j} \cdot r_{Pz j} = R \quad (9)$$

Спираючись на раціональність використання ресурсу вогневим засобом, під час розподілу ресурсу для кожного учасника ППО доцільно встановити пріоритет ε_k ($\varepsilon_k = \overline{0,1}$), згідно з яким можна ранжувати всіх учасників, зокрема побудувати чергу за цією ознакою: чим вище пріоритет, тим більше ресурсу отримає вогневий

$V_{Pz j}$ – об'єм простору, в якому діє j -й повітряний вогневий засіб ($j = \overline{1, m}$);

$T_{CuHz i}$ – середній цикл управління i -м наземним вогневим засобом;

$T_{CuPz j}$ – середній цикл управління j -м повітряним вогневим засобом;

M_{Hz}^{BTP} – математичне очікування втрат (виходу з ладу, витрат) наземних вогневих засобів ($M_{Hz}^{BTP} \in \mathbb{N}^0$);

M_{Pz}^{BTP} – математичне очікування втрат (виходу з ладу, витрат) повітряних вогневих засобів ($M_{Pz}^{BTP} \in \mathbb{N}^0$).

Для випадку розподілу простору (об'єму) між складовими ППО справедливим є вираз (6):

засіб. У найпростішому випадку пріоритет ε_k буде визначатися як нормована величина потрібного ресурсу для k -го вогневого засобу ППО ($k = \overline{1, (n+m)}$):

$$\varepsilon_k = \frac{\gamma_{Hz k} \cdot r_{Hz k}}{\sum_{i=1}^n \gamma_{Hz i} \cdot r_{Hz i} + \sum_{j=1}^m \gamma_{Pz j} \cdot r_{Pz j}} = \frac{\gamma_{Hz k} \cdot r_{Hz k}}{R} \quad (10)$$

або окремо для i -го (наземного) і j -го (повітряного) засобів:

$$\varepsilon_i = \frac{\gamma_{Hz i} \cdot r_{Hz i}}{\sum_{i=1}^n \gamma_{Hz i} \cdot r_{Hz i}}; \quad \varepsilon_j = \frac{\gamma_{Pz j} \cdot r_{Pz j}}{\sum_{j=1}^m \gamma_{Pz j} \cdot r_{Pz j}} \quad (11)$$

З урахуванням пріоритету розподілу, середній ресурс, призначений k -му засобу ППО, r_k , можна визначити за виразом:

$$\overline{r_k} = \min[r_k; \varepsilon_k R] \quad (12)$$

У випадку, коли сукупний ресурс, використаний учасниками ППО, менше встановленого (R), є небезпека не тільки зменшення ефективності виконання спільного завдання, але й недосягнення мети бойових дій у цілому, по причині того, що повітряний противник може скористатися наявними прогалинами в просторі або часі, подолати систему ППО і виконати свої завдання. Перебільшення призначеного кожній складовій системи ППО

ресурсу може призвести до зниження ефективності через необхідність заборони дій вогневих засобів угруповання-партнера в просторі (часі), який перебільшується, або до знищення дружніх засобів ППО. Отже, обидва випадки відхилення від призначеного ресурсу супроводжуються певними усередненими ризиками $\bar{\delta}$ ($\bar{\delta} = 0,1$). В умовах динамічних змін обстановки, вказані ризики будуть існувати та впливати на ефективність спільних дій таким чином:

$$E_{\text{ППО}} = \sum_{i=1}^n (1 - \bar{\delta}_{\text{нз}}) E_{\text{нз}i} + \sum_{j=1}^m (1 - \bar{\delta}_{\text{пз}}) E_{\text{пз}j} \quad (13)$$

де $\bar{\delta}_{\text{нз}}$ – усереднений ризик, викликаний відхиленням від використання ресурсу наземними засобами;

$$\varepsilon_k = \frac{(1 - \delta_k E_k) \gamma_{\text{нз}k} \cdot r_{\text{нз}k}}{\sum_{i=1}^n (1 - \bar{\delta}_{\text{нз}} E_{\text{нз}i}) \gamma_{\text{нз}i} \cdot r_{\text{нз}i} + \sum_{j=1}^m (1 - \bar{\delta}_{\text{пз}} E_{\text{пз}j}) \gamma_{\text{нз}j} \cdot r_{\text{нз}j}} \quad (14)$$

В такому випадку вираз (12) прийме вигляд:

$$\bar{r}_k = \min[r_k; \varepsilon_k R] = \min \left[r_k; R \frac{(1 - \delta_k E_k) \gamma_{\text{нз}k} \cdot r_{\text{нз}k}}{\sum_{i=1}^n (1 - \bar{\delta}_{\text{нз}} E_{\text{нз}i}) \gamma_{\text{нз}i} \cdot r_{\text{нз}i} + \sum_{j=1}^m (1 - \bar{\delta}_{\text{пз}} E_{\text{пз}j}) \gamma_{\text{нз}j} \cdot r_{\text{нз}j}} \right] \quad (15)$$

Враховуючи зазначене, методику визначення оптимальної кількості наземних і повітряних вогневих засобів, за виконання спільних завдань, доцільно реалізувати за алгоритмом, що наведений на рис. 3.

Методика реалізується за таким порядком:

1. Під час планування та перед початком бойових дій формуються вихідні дані (блок 1), що включатимуть склад та характеристики сил та засобів, залучених до ведення ППО. Також оцінюються геометричні параметри прогнозованої зони бойових дій, імовірний склад і тривалість ударів повітряного противника. З огляду на отримані дані, визначається раціональність використання простору та часу кожним типом залучених засобів, а в ідеальному випадку – кожним вогневим засобом окремо, зважаючи на його бойову готовність, забезпеченість засобами ураження, іншими матеріально-технічними засобами, підготовкою особового складу обслуги тощо. Зазначені дані, за необхідності, періодично уточнюються (блок 2).

2. Шляхом послідовного перебору від 1 до n наземних та від m до 1 повітряних вогневих засобів за виразом (13) визначається $\max(E_{\text{ППО}})$ (блоки 3-6 методики). Фіксуються значення n наземних та m повітряних вогневих засобів для максимальної ефективності, які будуть брати участь в бойових діях. Ці ж значення n та m беруться для подальших розрахунків і розподілу ресурсів.

$\bar{\delta}_{\text{пз}}$ – усереднений ризик, викликаний відхиленням від використання ресурсу повітряними засобами.

Визначення зазначених ризиків підлягає окремому дослідженню, як і доцільність їх усереднення або потреби враховування ризику для кожного вогневого засобу окремо. У процесі вивчення вказаного питання, також необхідно враховувати наявну статистику виконання спільних завдань наземними та повітряними засобами ППО під час російсько-української війни.

Як видно з виразу (13), ефективність учасників ППО знижується пропорційно до наявних ризиків відхилення від зазначеного обсягу ресурсів. Отже, пріоритет окремого k-го вогневого засобу ППО, в цьому випадку, буде залежати від зменшеної, залежно від ризику, ефективності його дій:

3. За виразом (14) визначається середній ресурс на один вогневий засіб \bar{r}_k (окремо r_i для наземних та r_j для повітряних вогневих засобів), блоки 7–8 методики.

4. За виразами (6) або (7), залежно від типу ресурсу, що розподіляється, в блоці 9 знаходиться оптимальна область розподілу ресурсу $\Delta R_{\text{опт}}$, в межах якої уточняється кількість наземних і повітряних вогневих засобів.

5. Визначаються ризики $\bar{\delta}_{\text{нз}}$, $\bar{\delta}_{\text{пз}}$ (за окремими методиками), блок 10.

6. За можливості, з метою підтримання визначеного рівня ефективності в блоці 11, наст визначається розмір резерву наземних та повітряних вогневих засобів залежно від ризиків:

$$n_{\text{рез}} = \text{ent} \left(M_{\text{нз}}^{\text{втр}} + n \cdot \bar{\delta}_{\text{нз}} \right) \quad (16)$$

для наземних вогневих засобів, та

$$m_{\text{рез}} = \text{ent} \left(M_{\text{пз}}^{\text{втр}} + m \cdot \bar{\delta}_{\text{пз}} \right) \quad (17)$$

для повітряних вогневих засобів.

7. Протягом бойових дій, вказані вище показники будуть змінюватися залежно від втрат, зміни ступеню бойової готовності вогневих засобів тощо (блоки 2, 12, 13). Тому необхідно їх періодично (до закінчення удару чи бойових дій, $T_{\text{бл}}$) уточнювати залежно від досягнутих результатів, змін обстановки та необхідності розширення (зменшення) просторових характеристик або часу ведення бою.

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунків

Номер ВО	Дальня межа зони ураження, км	Коефіцієнт раціонального використання часу	Коефіцієнт раціонального використання простору
НВО1	18	0,3	0,6
НВО2	18	0,3	0,6
НВО3	18	0,25	0,5
НВО4	18	0,25	0,5
НВО5	18	0,3	0,6
НВО6	18	0,2	0,4
ПВО1	40	0,25	0,05
ПВО2	40	0,2	0,04
ПВО3	40	0,3	0,03
ПВО4	40	0,2	0,4

На етапі визначення максимальної кількості залучених наземних та повітряних засобів ППО логічно пропонується залучити всі наявні ВО. Проте у випадку виконання спільних завдань під час розподілу зусиль за простором майже однаковою ефективністю показують випадки залучення 3 і 4 повітряних ВО, а також від 3 до 6 наземних ВО (рис. 4).

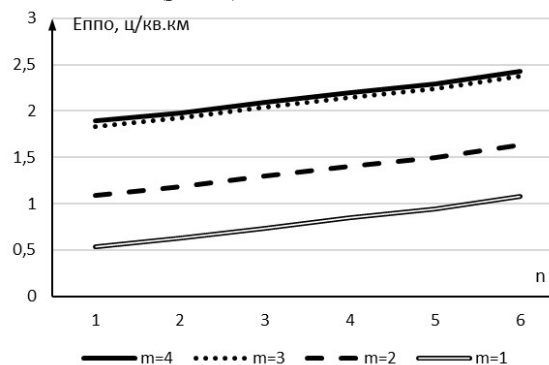


Рисунок 4 – Залежність Еппо від кількості наземних та повітряних засобів ППО під час розподілу зусиль за простором

Під час розподілу зусиль за часом доцільно залучити всі 4 повітряні та від 5 до 6 наземних засобів ППО (рис. 5).

Під час визначення середнього ресурсу на один вогневий засіб у процесі розподілу зусиль за простором отримуються наступні значення:

$$\bar{r}_{НЗ} = 9,6 \text{ км}^2; \bar{r}_{ПЗ} = 5,2 \text{ км}^2.$$

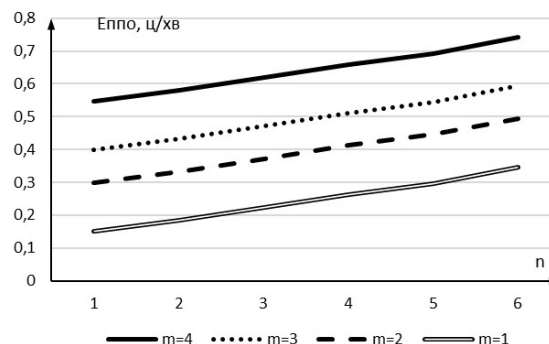


Рисунок 5 – Залежність Еппо від кількості наземних та повітряних засобів ППО під час розподілу зусиль за часом

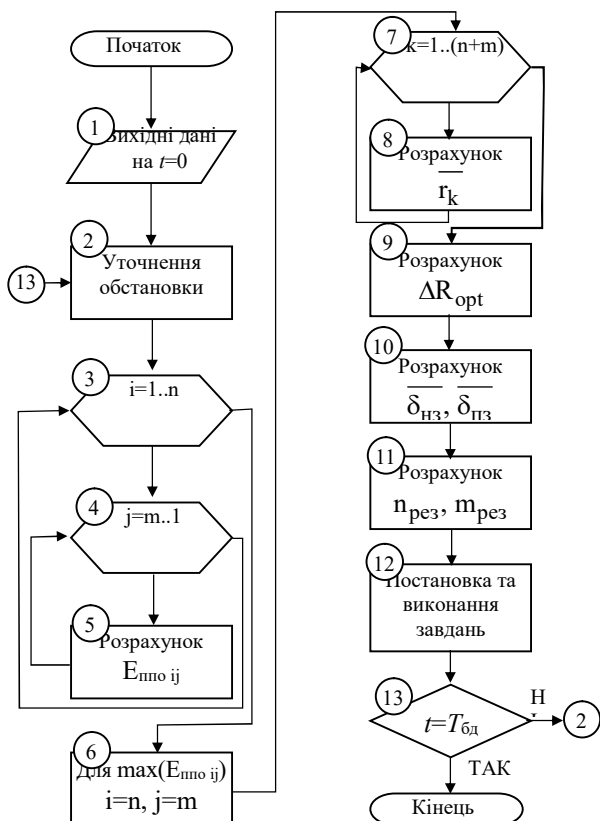


Рисунок 3 – Блок-схема реалізації методики визначення кількості наземних та повітряних вогневих засобів

Для оцінювання результатів, отриманих за методикою, проведено ряд розрахунків для умовної зони бойових дій, в якій знаходяться один тип наземних та один тип повітряних ВО, які відрізняються раціональністю використання виділеного їм ресурсу залежно від підготовленості обслуг (екіпажів), наявності засобів ураження, боездатності техніки тощо (табл. 1), де НВО – наземна вогнева одиниця, ПВО – повітряна вогнева одиниця.

Для проведення розрахунків прийнято такі обмеження:

тривалість удару повітряного противника – до 60 хвилин;

кількість засобів повітряного нападу, що беруть участь в ударі – до 40;

площа зони бойових дій – до 6000 км²;

всі засоби повітряного нападу противника виконують завдання на малих висотах без завад та можуть бути обстріляні наземними і повітряними вогневими засобами;

втрати можуть становити до однієї наземної ВО ($M_{НЗ}^{ВТР} = 1; M_{ПЗ}^{ВТР} = 0$);

ресурс за часом для повітряних ВО обмежується часом вильоту та прийнятий 30 хв без урахування зльоту, посадки та часу виходу в зону бойових дій;

ресурс за часом для наземних ВО обмежується часом роботи від автономних засобів живлення та прийнятий 100 хв без урахування часу розгортання.

В свою чергу, у процесі розподілу зусиль за часом середній ресурс на вогневу одиницю, відповідно, становитиме:

$$\overline{r_{\text{НЗ}}} = 27 \text{ хв}; \overline{r_{\text{ПЗ}}} = 7 \text{ хв}.$$

З урахуванням можливих втрат область раціонального розподілу ресурсу складатиме (для простору та часу відповідно):

$$\Delta V_{\text{opt}} = 9,6 \text{ км}^2; \Delta T_{\text{opt}} = 1,5 \text{ хв}.$$

За умови прийняття середнього ризику втрат від «дружнього вогню» $\overline{\delta_{\text{НЗ}}} = 0$, $\overline{\delta_{\text{ПЗ}}} = 0,12$ на етапі визначення резерву ВО отримуються такі значення:

$$n_{\text{рез}} = 1; m_{\text{рез}} = 0,$$

які в цілому не суперечать даним, отриманим на етапі визначення кількості залучених засобів ППО.

Застосування наведеної методики може надати вираш в ефективності ППО у спільних діях наземних та повітряних ВО у розмірі від 5% до 10% у процесі розподілу зусиль між ними за часом, та від 6 до 15% під час розподілу зусиль за простором.

Висновки й перспективи подальших досліджень

Отже, одним з основних завдань, що стоїть перед особою, яка приймає рішення на спільні дії наземних і повітряних засобів протиповітряної

оборони, є розподіл зусиль між ними, а також постійне коригування прийнятого рішення в умовах динамічних змін повітряної обстановки. Для ефективного вирішення цього завдання є розгляд часу та простору як ресурсів, які потрібно розподілити між наземними та повітряними засобами протиповітряної оборони, враховуючи раціональність їх використання.

У статті розроблено методику динамічного розподілу наявних ресурсів між наземними та повітряними вогневими засобами протиповітряної оборони під час їх спільних дій і, як наслідок, потрібної для виконання завдань кількості наземних і повітряних вогневих засобів. Також, обґрунтований спосіб визначення оптимальної області розподілу ресурсу в процесі визначення потрібної кількості засобів.

Запропонована методика, на відміну від існуючих, враховує показники середнього ресурсу на один вогневий засіб, раціональності його використання та ризиків, викликаних відхиленням від призначеного вогневим засобом обсягу ресурсу. Методика може бути застосована в алгоритмах систем підтримки прийняття рішень під час визначення варіантів розподілу зусиль між наземними та повітряними вогневими засобами протиповітряної оборони.

Список бібліографічних посилань

1. Великий тлумачний словник сучасної української мови : 250000 / уклад. та голов. ред. В. Т. Бусел. Київ; Ірпінь: Перун, 2005. VIII. 1728 с. 2. Cambridge Dictionary. URL : <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/resource> (date of access: 01.07.2023). 3. Гузченко С., Поплавець С., Гатченко Є., Явтушенко В., Козлов Д., Дроль О. Визначення розподілу різномірних засобів протиповітряної оборони по враженню повітряних цілей. *Scientific Collection «InterConf»*. № 145. С. 430–438. URL: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/2641> (date of access: 01.07.2023). 4. Резнік Д. В. Можливість використання моделі узгодженої взаємодії для оцінки ефективності взаємодії військ. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2014. № 2(20). С. 88–92. 5. Rieznik D., Levchenko M., Patalakha V., Melnichenko V., Kitik S., Shkurat B. Method of the Effort Coordination Chart Creation. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2020. № 5.

P. 7610-7617. URL: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/100952020> (date of access: 01.07.2023). 6. Rieznik D., Levchenko M., Patalakha V., Kitik S., Shkurat B., Globa O. Using a Model of Coordinated Interaction for Estimation of Troops Joint Missions Effectiveness. *Short Paper Proceedings of the 2nd International Conference on Intellectual Systems and Information Technologies collocated with 1st International Forum «Digital Reality»*. 2021. P. 233–237. 7. Гринченко М. А., Чернишова М. О. Технологія розподілу ресурсів у проекті між виконавцями. *Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології*. 2013. № 58. С. 155-166. 8. Гриша О. В. Динамічний розподіл ресурсів проекту на основі оптимізації змішаної стратегії. *Адаптивні системи автоматичного управління*. 2006. №9(29). С. 50–54. 9. ДСТУ ISO 9000:2015. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 49 с. 10. Барановська Л. В. Теорія ігор. курс лекцій : Навчальний посібник. Київ : КПІ, 2022. 245 с.

THE METHODOLOGY OF DYNAMIC RESOURCE ALLOCATION FOR JOINT ACTIONS OF GROUND-BASED AND AIR-BASED AIR DEFENSE MEANS

Shkurat Bohdan

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

As the experience of the russian-Ukrainian war and recent armed conflicts in the world shows, air defense plays the significant role during hostilities. Usually, the air defense system includes both ground-based and air-based fire means, the joint actions of which allow to ensure the required level of effectiveness of its functioning. But poor organization of joint actions can not only reduce their effectiveness, but also lead to conflict situations and such dangerous phenomena as "friendly fire". Existing studies on the peculiarities of the

implementation of joint projects by performers in conditions of uncertainty cannot be directly applied to the planning and conduct of combat operations with different fire means, especially in such dynamic situation changes, by which the air defense is accompanied. Thus, the task of resolving the conflict of interests of the air defense system fire components arises. One of the ways to solve this task is the rational resources allocation between fire means. In the article the methodology developed for determining the optimal amount of resources that should be allocated to ground and air fire components of air defense when they perform joint tasks in the dynamics of hostilities, and hence the necessary number of ground and air fire means. The resource definition is understood as time and (or) space, which characterize the boundaries of task performance. The methodology applies the methods of decision-making theory, game theory, project management, and comprehensively takes into account not only the average resource in which one fire mean is able to perform the task, but also considers indicators of the rationality of its resource use and risks caused by deviation from the amount of resource assigned to it. On the basis of the specified indicators, priorities are formed during distribution, which will determine the share of tasks allocated to a separate fire mean, and hence to the ground and air components of the air defense system. In addition, a method of determining the area of optimal allocation of the resource when calculating the required number of fire means is proposed in order to take into account possible deviations when determining the shares of ground and air-based means participation in the task. In the technique proposed the subjects for further discussing are: the methods of determining the loss of fire means, including those caused due to the risks of deviation from the designated resource, as well as the procedure for determining the rationality of the time or space using by fire means. The methodology developed can be applied in the algorithms of decision-making support systems, in particular, when determining options for the efforts distribution between ground-based and air-based air defense means during their joint actions.

Key words: air defense, fire means, anti-aircraft missile forces, fighter aircraft, joint actions, interaction, distribution of resources, conflict of interests.

References

- 1. Busel, V.T.**, (2005). A large explanatory dictionary of the modern Ukrainian language. Kyiv, Irpen: Perun, T. VIII, 1728.
- 2.** Cambridge Dictionary [online]. Available at: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/resource> [Accessed : 01 July 2023].
- 3. Huzchenko, S., Poplavets, S., Hachenko, Ye., Yavtushenko, V., Kozlov, D., Drol, O.**, (2023). Determination of the distribution of heterogeneous means of anti-aircraft defense against air targets. *Scientific Collection «InterConf»*, (145), 430–438 [online]. Available at: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/2641> [Accessed : 01 July 2023].
- 4. Rieznik, D. V.**, (2014). Possibility of using coordinated interaction model for evaluation of troops interaction efficiency. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*. 2(20), 88-92.
- 5. Rieznik, D., Levchenko, M., Patalakha, V., Melnichenko, V., Kitik, S., Shkurat, B.**, (2020). Method of the Effort Coordination Chart Creation. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 5, 7610-7617. doi.org/10.30534/ijatcse/2020/100952020 [Accessed : 01 July 2023].
- 6. Rieznik, D., Levchenko, M., Patalakha, V., Kitik, S., Shkurat, B., Globa, H.**, (2021). Using a Model of Coordinated Interaction for Estimation of Troops Joint Missions Effectiveness. *Short Paper Proceedings of the 2nd International Conference on Intellectual Systems and Information Technologies co-located with 1st International Forum «Digital Reality»*, 233-237.
- 7. Hrynchenko, M.A., Chernyshova M.O.**, (2013). Technology of distribution of resources in the project between performers. *Open information and computer integrated technologies*, 58, 155-166.
- 8. Hrysha, O. V.**, (2006). Dynamic allocation of project resources based on mixed strategy optimization. *Adaptive automatic control systems*, 9(29), 50-54.
- 9.** Derzhspozhyvstandart Ukrainy, (2015). *Quality management systems. Basic provisions and glossary of terms*. DSTU ISO 9000:2015. Kyiv: Vyd. ofits. 49.
- 10. Baranovska, L. V.**, (2022). Game theory. course of lectures: Study guide. Kyiv : KPI, 245