

DOI 10.33099/2618-1614-2024-24-1-31-38

УДК 355.4

**М. М. Олещук,***Повітряні Сили Збройних Сил України,***В. В. Коваль,***кандидат військових наук, старший науковий співробітник,  
Збройні Сили України,***П. В. Щипанський,***кандидат військових наук, професор,  
Національний університет оборони України,***О. М. Загорка,***доктор військових наук, професор,  
Національний університет оборони України,***С. В. Поліщук,***кандидат військових наук,  
Національний університет оборони України*

## Особливості організації оборони населених пунктів від ударів балістичних ракет оперативно-тактичного і тактичного призначення

В умовах сучасної війни оборона населених пунктів від ударів балістичних ракет оперативно-тактичного і тактичного призначення набуває першорядної ваги. Організація такої оборони має особливості, зумовлені специфічністю траєкторій польоту ракет до об'єктів ураження. Особливості організації оборони полягають у необхідності забезпечення під час призначення позиції зенітного ракетного комплексу накриття зоною оборони найважливіших об'єктів населеного пункту. У статті запропонований порядок оцінювання ефективності протиракетної оборони населеного пункту та наведені рекомендації щодо організації оборони населених пунктів від ударів балістичних ракет оперативно-тактичного і тактичного призначення з урахуванням зони оборони, що реалізується багатоканальним зенітним ракетним комплексом.

**Ключові слова:** населений пункт, балістична ракета, зенітний ракетний комплекс, зона оборони, ефективність.

© М. М. Олещук, В. В. Коваль, П. В. Щипанський,  
О. М. Загорка, С. В. Поліщук, 2024

**П**остановка проблеми. Балістичні ракети оперативно-тактичного і тактичного призначення (далі – БР) перебувають на озброєнні армій багатьох країн світу, багаторазово застосовувались у минулих війнах і збройних конфліктах. Раптовість застосування, потужні бойові частини, висока точність ураження об'єктів сучасних БР визначають їх як найбільш небезпечні та ефективні засоби збройної боротьби. БР також є найбільш складними цілями для засобів протиповітряної оборони (ППО), що зумовлюється високою швидкістю їхнього польоту, малою ефективною поверхнею розсіяння, слабкою вразливістю з боку бойових головок зенітних керованих ракет (ЗКР).

Аналіз минулих воєнних конфліктів і сучасної війни Російської Федерації (РФ) проти України свідчить, що БР в основному застосовувались для завдання ударів по найважливіших об'єктах державного і місцевого призначення, розташованих у досить великих населених пунктах. Організація оборони населених пунктів засобами ППО від ударів БР потребує врахування розташування об'єктів на території населеного пункту, специфіки траєкторій польоту БР та прогнозування ефективності відбиття ударів БР зенітними ракетними комплексами (ЗРК).

Тому в умовах війни, розв'язаної РФ проти України, дослідження питань оборони населених пунктів від ударів БР набуває першорядного значення.

Про роль ППО в сучасній війні досить переконливо висловився О. Я. Маначинський [1]: «Протиповітряна оборона – два вельми звичайних слова, але як зросла їхня важливість. Нині протиповітряна оборона визначає життєздатність держави в разі агресії. Це одна з найважливіших систем оборони».

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Ефективність ППО об'єктів і військ, зокрема оборони населених пунктів від ударів БР, залежить не лише від наявності сил і засобів, здатних уражати повітряні цілі, а й від організації їхнього застосування.

Питання, що стосуються організації ППО військ та об'єктів, розглянуті в багатьох працях. Монографії [2, 3] присвячені дослідженню ППО військ та об'єктів від масованих ударів засобів повітряного нападу (ЗПН) в операції (бою). Розглядається ППО військ та об'єктів, розташованих у визначеному регіоні країни. Питання боротьби з крилатими ракетами повітряного і морського базування розглянуті в монографії [4]. У статті [5] розглянуті принципи створення тактичної системи протиракетної оборони, наведені залежності для обчислення параметрів зони оборони від БР, які потребують уточнення. Фрагментарно питання оборони об'єктів від ударів БР розглянуті в довіднику [6].

З аналізу наведених праць можна дійти висновку, що оборона окремих об'єктів від ударів БР з урахуванням особливості її організації досліджена не повною мірою. Проте реалії російсько-української війни, характер

застосування РФ БР потребують поглибленого дослідження питань боротьби з БР, зокрема організації оборони населених пунктів країни від їхніх ударів.

**Мета статті** полягає в розробленні рекомендацій щодо організації оборони населених пунктів від ударів БР.

**Виклад основного матеріалу.** Економіка та інфраструктура будь-якої країни, зокрема України, містить значну кількість критично важливих для життєзабезпечення держави і населення об'єктів, розташованих у населених пунктах. Руйнування таких об'єктів може призвести до неприйняттого збитку. До таких об'єктів належать [7]:

- органи державного і місцевого управління;
- військові установи;
- підприємства промисловості та паливно-енергетичного сектору економіки, зокрема підприємства оборонно-промислового комплексу держави;
- об'єкти життєзабезпечення населення;
- комунікації на території населених пунктів і в районах, що примикають до них (залізничні вузли, мости, порти, аеродроми тощо);
- потенційно небезпечні об'єкти (греблі, гідроелектростанції, підприємства хімічних виробництв тощо), телецентри, радіотрансляційні центри.

Можна вважати, що під час завдання ударів ЗПН по населених пунктах для руйнування найважливіших об'єктів противник застосовуватиме БР, які є найскладнішими цілями для засобів ППО та потребують особливого підходу до організації оборони населених пунктів від їхніх ударів.

Просторові можливості ЗРК щодо захисту військ та об'єктів від ударів таких ЗПН, як літаки, крилаті ракети, безпілотні літальні апарати, вертольоти, прийнято характеризувати зоною прикриття, від ударів БР – зоною оборони [2, 3, 6].

Під зоною оборони розуміють область розрахункових точок падіння тих БР, які ЗРК здатний своєчасно виявити і знищити в повітрі [2]. Основними параметрами, які характеризують зону оборони, є: площа, яка відповідає ймовірності перехоплення БР; відстані до передньої і тильної межі зони оборони та величина кута, що обмежує зону в напрямку, з якого наноситься ракетний удар. Площа зони оборони являє собою косокутну проекцію просторової зони ураження ЗРК на горизонтальну площину [5]. Конфігурацію зони оборони показано на *рисунку 1*.

Конфігурація зони оборони і відстані до передньої  $r_1$  і тильної  $r_2$  межі залежать від співвідношення кута нахилу траєкторії польоту БР  $E_{БР}$  та кута місця  $E_{ЗП}$  зони ураження ЗРК. Так, при  $E_{БР} > E_{ЗП}$  відстань до тильної межі зони оборони становить  $r_2^*$  (*рис. 1*).

Для траєкторії польоту БР, якій відповідає кут нахилу  $E_{БР} \leq E_{ЗП}$ , відстані  $r_1$  і  $r_2$  з урахуванням [5] визначаються за формулами:

$$r_1 = \sqrt{D_{\Pi}^2 - H_{\text{в}}^2} - \frac{H_{\text{в}} - H_{\text{н}}}{\text{tg}E_{ЗП}} - \frac{H_{\text{н}}}{\text{tg}E_{БР}}; \quad (1)$$

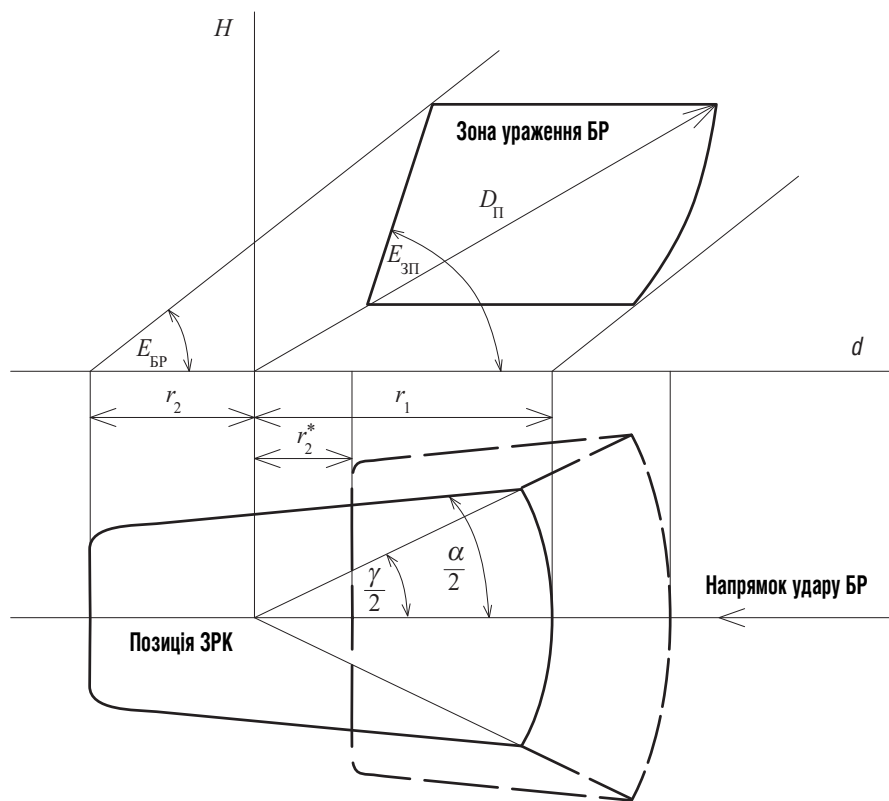


Рис. 1. Конфігурація зони оборони

$$r_2 = \frac{H_B}{\operatorname{tg} E_{\text{БР}}} - \frac{H_B - H_{\text{Н}}}{\operatorname{tg} E_{\text{ЗП}}} - d_6, \quad (2)$$

де  $D_{\text{П}}$  – дальність перехоплення БР;

$H_B$  – верхня межа зони ураження ЗРК;

$H_{\text{Н}}$  – нижня межа зони ураження ЗРК;

$d_6$  – горизонтальна дальність до ближньої межі зони ураження ЗРК на висоті  $H_{\text{Н}}$ .

Відстані до тильної межі зони оборони  $r_2$  можуть мати додатні та від’ємні значення.

Для додатних значень відстані  $r_2$  площа зони оборони приблизно визначається за виразом:

$$S = 0,00873r_1^2\gamma + (r_1 \sin \frac{\gamma}{2} - r_1 \cos \frac{\gamma}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2})r_1 \cos \frac{\gamma}{2} + 2r_2 \left[ r_1 \sin \frac{\gamma}{2} - (r_2 + r_1 \cos \frac{\gamma}{2}) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right] + r_2^2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (3)$$

$$\gamma > \alpha, \quad r_1 \sin \frac{\gamma}{2} \geq (r_2 + r_1 \cos \frac{\gamma}{2}) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2},$$

де  $\frac{\gamma}{2}$  – курсовий кут зони ураження ЗРК;

$\frac{\alpha}{2}$  – кут обмеження розташування розрахункових точок падіння БР, що перехоплюються ЗРК, відносно бісектриси зони ураження.

Величина кута  $\frac{\alpha}{2}$ , як і параметри зони ураження ЗРК, визначається шляхом моделювання стрільби ЗРК по БР і вважається відомою під час обчислення площі зони оборони.

При  $E_{\text{БР}} > E_{\text{ЗП}}$  відстані до передньої  $r_1$  і тильної  $r_2^*$  межі зони оборони визначаються за формулами:

$$r_1 = \sqrt{D_{\text{П}}^2 - H_B^2} - \frac{H_B}{\operatorname{tg} E_{\text{БР}}}; \quad (4)$$

$$r_2^* = d_6 - \frac{H_{\text{Н}}}{\operatorname{tg} E_{\text{БР}}}. \quad (5)$$

У цьому випадку площа зони оборони

$$S = 0,00873r_1^2\gamma + \left[ r_1 \sin \frac{\gamma}{2} - r_2^* \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} - (r_1 \cos \frac{\gamma}{2} - r_2^*) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right] \cdot (r_1 \cos \frac{\gamma}{2} - r_2^*) - r_2^{*2} \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}. \quad (6)$$

За формулою (6) також обчислюється площа зони оборони при  $E_{\text{БР}} \leq E_{\text{ЗП}}$  для від’ємних значень відстані  $r_2$ . При цьому враховуються додатні значення відстані  $r_2$ .

Ураховуючи формули (1), (2), (4), (5) для розрахунку відстань до передньої та тильної меж зони оборони доцільно визначити залежність площі зони оборони від кута нахилу  $E_{\text{БР}}$  траєкторії польоту БР. У таблиці 1 наведені результати розрахунку площі зони оборони ЗРК при змінюванні кута нахилу траєкторії польоту БР для

таких вихідних даних:  $D_{\text{П}} = 40$  км;  $H_B = 20$  км;  $H_{\text{Н}} = 1$  км;  $d_6 = 5$  км;  $E_{\text{ЗП}} = 70^\circ$ ;  $\alpha = 30^\circ$ ;  $\gamma = 60^\circ$  та  $90^\circ$ .

Таблиця 1

### Результати розрахунку площі зони оборони ЗРК

Кут нахилу траєкторії польоту, $E_{\text{БР}}$ , градуси	Відстань до меж зони оборони, км		Площа зони оборони ЗРК, км <sup>2</sup>	
	$r_1$	$r_2(r_2^*)$	$\gamma = 60^\circ$	$\gamma = 90^\circ$
30	26,00	22,73	732	1252
40	26,54	11,92	664	1100
50	26,89	4,87	590	962
60	27,15	0,36*	562	837
70	27,37	4,63*	493	725
80	31,11	4,82*	624	954
90	34,64	5,00*	807	1196

Примітка: \* – від’ємні значення відстані  $r_2(r_2^*)$ .

Для характеристик ЗРК, прийнятих під час розрахунків, мінімальній площі зони оборони відповідають кути нахилу траєкторії польоту БР  $E_{\text{БР}} = 60^\circ - 70^\circ$ . Площа зони оборони суттєво збільшується в разі зменшення і збільшення кутів  $E_{\text{БР}}$ , що потрібно враховувати під час організації оборони населених пунктів від ударів БР.

З наведених у таблиці 1 результатів розрахунків площі зони оборони випливає: якщо удари БР очікуються з одного напрямку, то одним багатоканальним ЗРК можна забезпечити оборону достатньо великої площі, тобто значного населеного пункту, а якщо противник завдаватиме удари БР з декількох напрямків одночасно, то для оборони населеного пункту потрібно застосовувати дватри ЗРК.

Під час організації оборони населеного пункту позицію ЗРК потрібно обирати з урахуванням забезпечення накриття зоною оборони максимальної кількості найважливіших об’єктів, розташованих у населеному пункті.

Для оцінювання важливості (ранжирування) об’єкти поділяються на групи за призначенням: управлінські, промислові, життєзабезпечення населення, транспортної інфраструктури тощо. У цьому випадку сукупність об’єктів, по яких противник може завдавати удари БР, має ієрархічну структуру, для оцінювання їхньої важливості доцільно використати експертний метод ранжирування, застосування якого докладно наведено у праці [8].

Ранжирування об’єктів здійснюється у два етапи. На першому етапі здійснюється ранжирування груп об’єктів за призначенням, на другому – об’єктів усередині груп. Під час ранжирування експерти враховують ступені впливу груп об’єктів на виконання оборонних завдань та ступені впливу функціонування об’єктів на виконання завдань групами об’єктів за призначенням.

Групи об'єктів (об'єкту всередині групи), яка найбільше впливає на виконання оборонних завдань, надається перший ранг, а групи об'єктів (об'єкту), яка є найменш впливовою – останній ранг. Експерт має розташувати групи об'єктів або об'єкти всередині групи у порядку їхньої значущості та приписати кожній групі (кожному об'єкту) числа натурального ряду.

Коефіцієнти, які характеризують вплив груп об'єктів на виконання оборонних завдань, визначаються за формулою [8]:

$$C_{ik} = 1 - \frac{r_{ik} - 1}{m}, \quad i = \overline{1, m}; \quad k = \overline{1, K}, \quad (7)$$

де  $r_{ik}$  – ранг, наданий  $k$ -м експертом  $i$ -ї групі об'єктів;  
 $K$  – кількість експертів;  
 $m$  – кількість груп об'єктів.

Коефіцієнт важливості  $i$ -ї групи об'єктів, визначений  $k$ -м експертом

$$b_{ik} = \frac{C_{ik}}{\sum_i C_{ik}}, \quad i = \overline{1, m}, \quad \sum_i b_{ik} = 1. \quad (8)$$

Остаточні коефіцієнти важливості груп об'єктів визначаються шляхом усереднення значень  $b_{ik}$ . Коли компетентність експертів однакова

$$b_i = \frac{1}{K} \sum_k b_{ik}, \quad k = \overline{1, K}. \quad (9)$$

Компетентність  $k$ -го експерта оцінюється коефіцієнтом  $q_k$ ,  $\sum_k q_k = 1$ , коефіцієнти важливості груп об'єктів

$$b_i = \sum_k q_k b_{ik}, \quad k = \overline{1, K}. \quad (10)$$

Вірогідність результатів експертного оцінювання перевіряється з використанням коефіцієнта конкордації, визначення якого наведено у праці [8].

Аналогічно визначаються коефіцієнти важливості об'єктів  $d_{ij}$  усередині груп,  $j = \overline{1, n_i}$ , де  $n_i$  – кількість об'єктів у складі  $i$ -ї групи.

За результатами експертного оцінювання коефіцієнт важливості  $j$ -го об'єкта  $i$ -ї групи визначається за формулою:

$$\omega_{ji} = d_{ji} b_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n_i}. \quad (11)$$

Експертами розглядається  $N = \sum_i n_i$  об'єктів населеного пункту. Усі об'єкти нумеруються за порядком номерів груп, кожному об'єкту надається номер  $l$ , якому відповідає коефіцієнт важливості  $\omega_{ji}$ . Таким чином визначаються коефіцієнти важливості  $\omega_l (l = \overline{1, N})$  усіх об'єктів населеного пункту.

Для обґрунтування рекомендацій щодо вибору позиції (позицій) ЗРК, визначення достатності сил для оборони населеного пункту потрібно оцінювати ефективність протиракетної оборони. Порядок оцінювання ефектив-

ності протиракетної оборони населеного пункту показаний на *рисунку 2*.

Під час організації оборони населеного пункту від ударів БР слід вважати, що противник намагатиметься знищити насамперед найважливіші об'єкти. Ураховуючи прогнозовану кількість БР в ударі та наряди БР для знищення об'єктів, можна визначити об'єкти, по яких найімовірніше завдаватимуться удари. Для цього доцільно використати підхід, викладений у статті [7]. З урахуванням важливості об'єктів і нарядів БР для їхнього знищення визначається  $N_{\text{ЗН}} (\xi = 1, N_{\text{ЗН}})$  об'єктів шляхом застосування ітерацій до повного витрачання БР.

Запуск БР може здійснюватися по оптимальних, навісних і настільних траєкторіях [6], що впливає на кут нахилу  $E_{\text{БР}}$  на кінцевій ділянці польоту БР. Прогнозування виду траєкторії БР з метою визначення кута нахилу  $E_{\text{БР}}$  здійснюється з урахуванням відстані між ракетними підрозділами противника і населеним пунктом.

З використанням кута нахилу траєкторії  $E_{\text{БР}}$  з *таблиці 1* визначаються параметри, площа та конфігурація зони оборони ЗРК.

Позиція ЗРК визначається з урахуванням забезпечення накриття зоною оборони всіх або максимальної кількості об'єктів населеного пункту, по яких противник може завдати удари БР.

Відповідно до *рисунка 1* і *таблиці 1* при кутах нахилу траєкторії БР  $E_{\text{БР}}$  до  $50^\circ$  позиція ЗРК розташовується всередині зони оборони, а при більших кутах нахилу – поза зоною оборони. Найзагальнішим є випадок, коли не всі об'єкти розташовані в зоні оборони ЗРК. Тому визначаються об'єкти, які обороняються (розташовані в зоні оборони ЗРК)  $N_{\text{об}} (\nu = \overline{1, N_{\text{об}}})$ , та об'єкти, розташовані поза зоною оборони (не обороняються)  $N_{\text{ноб}} (\mu = \overline{1, N_{\text{ноб}}})$ . При цьому

$$N_{\text{ЗН}} = N_{\text{об}} + N_{\text{ноб}}. \quad (12)$$

Коефіцієнти важливості  $\omega_\nu$ ,  $\omega_\mu$  цих об'єктів відповідають коефіцієнтам важливості  $\omega_l$ , визначеним з використанням методу ранжирування.

Під час визначення ймовірності ураження  $P_\nu (P_\mu)$   $\nu$ -го або  $\mu$ -го об'єкта однією БР, радіус якого не більше радіуса зони ураження БР, вважається, що зона ураження об'єкта має форму круга, при влучанні БР у якій забезпечується повне ураження об'єкта. Оцінювання ймовірності ураження об'єкта однією БР зводиться до визначення влучання БР у коло, центр якого зазвичай сполучений з об'єктом, а радіус дорівнює радіусу зони ураження бойової частини БР  $R_3$  [9].

У цьому випадку ймовірність ураження  $P_\nu (P_\mu)$  об'єкта, радіус якого не більше радіуса  $R_{3\nu} (R_{3\mu})$ , визначається за формулою:

$$P_\nu (P_\mu) = 1 - e^{-\left( -\frac{\rho^2 R_{3\nu}^2 (R_{3\mu})^2}{B_{\text{дп}} B_{\text{оп}}} \right)}, \quad (13)$$

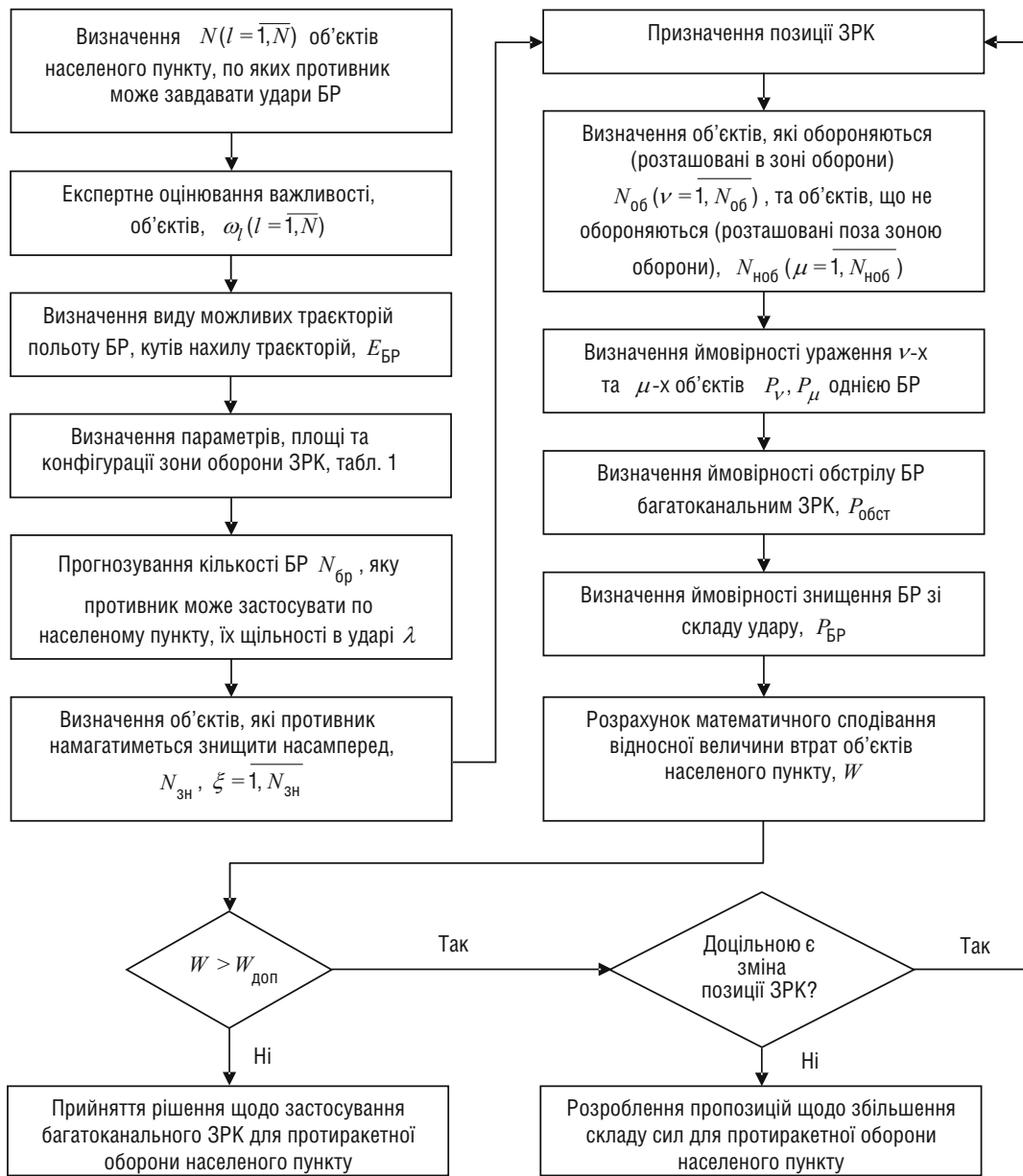


Рис. 2. Порядок оцінювання ефективності протиракетної оборони населеного пункту

де  $B_{ДП}$ ,  $B_{БП}$  – приведені серединні відхилення точок падіння БР по дальності та бічному напрямку відповідно;  $\rho = 0,4769$ .

Для визначення ймовірності ураження площинного об'єкта використовується залежність [9]:

$$P_v(P_\mu) = 1 - e^{-\left( \frac{\rho^2 R_{3v}^2 (R_{3\mu})^2}{B_{П}^2 + 0,11 R_{обv}^2 (R_{об\mu}^2)} \right)}, \quad (14)$$

де  $B_{П} = 0,5(B_{ДП} + B_{БП})$ ;

$R_{обv}(R_{об\mu})$  – радіус площинного об'єкта, прийнятий за круговий.

Для визначення ймовірності ураження БР ЗРК використовується залежність:

$$P_{БР} = P_{Н} P_{В} P_{обст} \left[ 1 - (1 - P_{нав} R_{БГ})^{n_{ЗРК}} \right], \quad (15)$$

де  $P_{Н}$  – імовірність безвідмовного функціонування всіх елементів ЗРК;

$P_{В}$  – імовірність виявлення БР;

$P_{обст}$  – імовірність обстрілу БР;

$P_{нав}$  – імовірність успішного наведення ЗРК на БР;

$R_{БГ}$  – умовна ймовірність ураження БР бойовою головою ЗРК;

$n_{ЗРК}$  – кількість ЗРК, призначених для ураження БР.

Ймовірності  $P_H, P_{нав}$  близькі до одиниці.

Ураховуючи призначення ЗРК для ураження таких цілей, як БР, за умови своєчасного приведення його в бойову готовність імовірність виявлення БР також є високою (перебуває в межах 0,9–1,0).

В умовах стрільби ЗРК по БР час перебування цілей у зоні обстрілу порівнянний із часом, потрібним для їх обстрілу. Цільовим каналом ЗРК можна обстріляти тільки одну з БР, що одночасно входять у зону пуску комплексу. У цьому випадку ймовірність обстрілу БР може бути визначена з використанням формули Ерланга:

$$P_{обст} = 1 - \frac{\alpha^{n_{цк}}}{\sum_{k=1}^{n_{цк}} \frac{\alpha^k}{k!}}, \quad (16)$$

де  $n_{цк}$  – кількість цільових каналів ЗРК;

$\alpha = \lambda T_{обст}$  – допоміжний параметр;

$\lambda$  – щільність БР в ударі;

$T_{обст}$  – середній час обстрілу БР.

Залежності ймовірності обстрілу БР багатоканальним ЗРК від їхньої щільності в ударі наведені на *рисунку 3*.

Ймовірність обстрілу БР суттєво залежить (особливо для чотириканального ЗРК) від їхньої щільності в ударі. Для шестиканального ЗРК суттєве зниження ймовірності обстрілу БР відбувається при щільності БР в ударі більше 4–5 БР/хв.

Складова залежності (15) – ймовірність ураження БР бойовою головкою  $R_{БГ}$  визначається дослідно-теоретичним методом і підтверджується під час полігонних випробувань ЗРК. Ймовірність  $R_{БГ}$  для осколково-фугасної бойової головки ЗРК дорівнює (0,5–0,6), при кінетичному ураженні БР (пряме влучання) – приблизно одиниці.

За показник ефективності відбиття удару БР прийняте математичне сподівання відносної величини втрат об'єктів населеного пункту, по яких противник здатний завдати удари.

Математичне сподівання відносної величини втрат об'єктів населеного пункту визначається за формулою:

$$W = \frac{\sum_v \omega_v \left[ 1 - (1 - P_v)^{n_v} (1 - P_{БР}) \right] + \sum_\mu \omega_\mu \left[ 1 - (1 - P_\mu)^{n_\mu} \right]}{\sum_v \omega_v + \sum_\mu \omega_\mu},$$

$$v = \overline{1, N_{об}}; \quad \mu = \overline{1, N_{ноб}}, \quad (17)$$

де  $n_v, n_\mu$  – наряди БР для знищення  $v$ -го та  $\mu$ -го об'єкта відповідно.

Відповідно до порядку оцінювання ефективності протиракетної оборони населеного пункту (*рис. 2*) при математичному сподіванні відносної величини втрат об'єктів більше допустимих  $W > W_{доп}$  з метою їх зменшення можлива зміна позиції ЗРК. Коли це не дає змоги зменшити втрати до допустимих, потрібно розробити пропозиції щодо збільшення складу ЗРК для оборони населеного пункту.

Порядок оцінювання ефективності протиракетної оборони населеного пункту на *рисунку 2* передбачає застосування одного багатоканального ЗРК. У разі застосування для оборони населеного пункту декількох ЗРК загальний порядок не змінюється. Проте об'єкти, що обороняються  $N_{об}$  і не обороняються  $N_{ноб}$ , визначаються з урахуванням зон оборони цих ЗРК. Під час визначення ймовірності обстрілу БР ураховується загальна кількість цільових каналів ЗРК.

За результатами проведеного дослідження можна надати рекомендації щодо організації оборони населених пунктів від ударів БР:

1. Оборона населеного пункту від ударів БР організується з урахуванням важливості (значущості) об'єктів для виконання оборонних завдань держави і життєзабезпечення населення. Важливість об'єктів населеного пункту визначається заздалегідь із використанням експертного методу ранжирування.

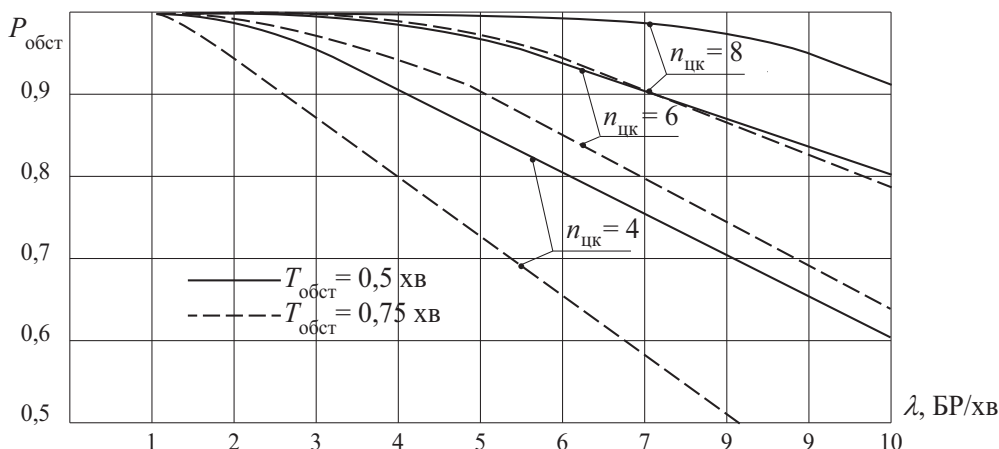


Рис. 3. Залежності ймовірності обстрілу БР від їхньої щільності в ударі

2. Під час прогнозування дій противника визначаються: напрямок удару, кількість БР та їхня щільність в ударі, вид траєкторії польоту БР, кут нахилу траєкторії на кінцевій ділянці польоту. Прогнозування дій противника здійснюється на підставі врахування кількості ракетних підрозділів противника, які можуть діяти по населеному пункту, їхніх відстаней від населеного пункту.

3. Відповідно до зони ураження ЗРК, що застосовується, з урахуванням прогнозованого кута нахилу траєкторії польоту БР визначаються параметри і конфігурація зони оборони від ударів БР. Для різних кутів нахилу траєкторії польоту БР параметри і площа зони оборони визначаються заздалегідь (табл. 1).

4. Ураховуючи наряди БР для знищення об'єктів, з використанням методу ітерацій визначаються найважливіші об'єкти населеного пункту, по яких противник здатний завдати удари.

5. Вибір позиції (позицій) ЗРК здійснюється з урахуванням забезпечення накриття зоною (зонами) оборони ЗРК найбільшої кількості об'єктів, по яких противник здатний завдати удари, насамперед найважливіших. Визначаються допустимі втрати об'єктів від ударів БР.

6. Відповідно до розробленого порядку оцінювання ефективності протиракетної оборони населеного пункту (рис. 2) визначається математичне сподівання відносної величини втрат об'єктів. За результатами оцінювання ефективності приймається рішення щодо необхідності змінювання позиції (позицій) ЗРК, застосування для оборони населеного пункту одного або декількох ЗРК.

Оцінювання ефективності оборони населеного пункту від удару БР розглянуте на прикладі.

Розглядається населений пункт, на території якого розміщуються 15 об'єктів, по яких противник може завдати удари БР. По населеному пункту противник може застосувати до 10 БР, щільність яких в ударі може бути від 2 до 10 БР/хв. Траєкторії польоту БР близькі до оптимальних, кут нахилу траєкторії на кінцевій ділянці

траєкторії становить  $40^{\circ}$ – $50^{\circ}$ . Приведені серединні відхилення точок падіння БР  $V_{ДП} = V_{БП} = 20$  м.

Для оборони населеного пункту застосовується один шестиканальний ЗРК, параметри зони ураження якого становлять:  $D_{П} = 40$  км,  $H_{Б} = 20$  км,  $H_{П} = 1$  км,  $d_6 = 5$  км,  $E_{ЗП} = 70^{\circ}$ ,  $\gamma = 60^{\circ}$ . Кут обмеження розташування точок падіння БР  $\alpha = 30^{\circ}$ . Середній час обстрілу БР  $T_{обст} = 0,75$  хв. Імовірність виявлення БР  $P_{В} = 0,95$ , умовна ймовірність ураження БР  $R_{БГ} = 0,6$ ,  $n_{ЗКР} = 2$ .

Характеристика об'єктів населеного пункту та результати розрахунку ймовірностей ураження однією БР об'єктів, по яких противник здатний завдати удари, наведена в таблиці 2.

Коефіцієнти важливості об'єктів, наведені в таблиці 2, визначені з використанням експертного методу ранжирування.

За кількістю БР і нарядів для знищення найважливіших об'єктів з використанням ітерацій визначені сім об'єктів ( $N_{ЗН} = 7$ ), по яких противник здатний завдати удари. До таких об'єктів належать об'єкти з номерами  $l$ : 2, 5, 8, 10, 11, 12, 14 (див. табл. 2).

За параметрами зони ураження ЗРК з урахуванням кута нахилу траєкторії БР визначені параметри, площа і конфігурація зони оборони. З таблиці 1 площа зони оборони становить  $590$ – $664$  км<sup>2</sup>, відстань до передньої межі зони оборони –  $26,5$ – $26,9$  км, до тильної межі –  $4,9$ – $11,9$  км.

Ураховуючи очікуваний напрямок удару БР, розміщення об'єктів на території населеного пункту, а також параметри і площу зони оборони призначена позиція ЗРК, розташована всередині зони оборони. Визначено, що в зоні оборони розташовуються п'ять об'єктів ( $N_{об} = 5$ ) з номерами  $l$ : 5, 8, 10, 12, 14, поза зоною оборони – два об'єкти ( $N_{ноб} = 2$ ) з номерами  $l$ : 2, 11.

За формулами (13), (14) розраховані ймовірності  $P_{\nu}$ ,  $P_{\mu}$  (див. табл. 2) ураження  $N_{об}$ ,  $N_{ноб}$  об'єктів однією БР.

Таблиця 2

Характеристика об'єктів, імовірність їх ураження однією БР

Характеристика об'єктів, імовірність ураження об'єктів однією БР	Об'єкти населеного пункту, $l = 1, N$														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Коефіцієнт важливості, $w_l$	0,025	0,100	0,035	0,044	0,091	0,017	0,028	0,120	0,051	0,082	0,071	0,153	0,022	0,128	0,033
Радіус об'єкта, $R_{об}, м$	300	70	60	200	50	100	45	30	35	50	85	80	120	40	90
Наряд БР, $n_l$	12	2	2	6	1	3	1	1	1	1	2	2	3	1	2
Об'єкти ураження		+			+			+		+	+	+		+	
Радіус зони ураження БР, $R_з, м$		42			50			40		50	55	38		45	
Імовірність ураження об'єкта однією БР		0,35			0,76			0,60		0,76	0,44	0,26		0,69	
Об'єкти, що розташовані в зоні оборони					+			+		+		+		+	

Таблиця 3

**Математичні сподівання  
відносної величини втрат населеного пункту**

Щільність БР в ударі $\lambda$ , $БР/хв$	Показники		
	Імовірність обстрілу БР, $P_{обст}$	Імовірність ураження БР, $P_{БР}$	Математичне сподівання відносної величини втрат об'єктів, $W$
2	1,00	0,80	0,29
4	0,95	0,76	0,31
6	0,85	0,68	0,35
8	0,74	0,59	0,40
10	0,63	0,50	0,45

Індекси  $\nu$ ,  $\mu$  визначені за порядком номерів  $l$  об'єктів у таблиці 2 і відповідають об'єктам, розташованим у зоні та поза зоною оборони ( $\nu = 1, N_{об}$ ;  $\mu = 1, N_{ноб}$ ).

Для розрахунку ймовірності ураження БР  $P_{БР}$  використана залежність (15). Імовірність обстрілу БР  $P_{обст}$  визначається з використанням графіків на *рисунку 3*. Розрахунок математичного сподівання відносної величини втрат об'єктів населеного пункту здійснюється за формулою (17). Результати розрахунку наведені в *таблиці 3*.

Значні відносні втрати об'єктів (близько 30%) у разі щільності до чотирьох БР/хв зумовлені наявністю поза зоною оборони ЗРК двох об'єктів, по яких противник завдає удар. У разі щільності 6 і більше БР/хв відносні втрати суттєво збільшуються і в разі щільності 10 БР/хв становлять 45%. Це зумовлює необхідність застосування в умовах прикладу, що розглядається, для оборони населеного пункту двох ЗРК. У цьому випадку може бути забезпечене накриття зонами оборони ЗРК усіх найважливіших об'єктів населеного пункту.

**Висновки.** Розроблені рекомендації щодо організації оборони населеного пункту від ударів БР. Рекомендації ґрунтуються на врахуванні зони оборони ЗРК та ефективності відбиття ударів БР по об'єктах населеного пункту.

Наведені аналітичні залежності для визначення параметрів і площі зони оборони ЗРК та порядок оцінювання ефективності протиракетної оборони населеного пункту. За показник ефективності відбиття ударів БР прийняте

математичне сподівання відносної величини втрат об'єктів населеного пункту, яке оцінюється з урахуванням їхньої важливості. Під час оцінювання ефективності враховується накриття зоною оборони ЗРК найважливіших об'єктів населеного пункту, що залежить від вибору позиції ЗРК.

Рекомендації доцільно використовувати органами військового управління під час організації оборони населених пунктів від ударів БР. Порядок їх урахування проілюстрований на прикладі.

### Перелік літератури

1. Маначинский А. Я. Ирак: тайные пружины войны / А. Я. Маначинский. – К. : Румб, 2005. – 415 с. : іл. – (Необъявленные войны).
2. Моделювання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку) : монографія / В. П. Городнов [та ін.] – Х. : ХВУ, 2004. – 410 с.
3. Синтез адаптивних структур систем зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів і військ та оцінка їх ефективності (теорія, практика, тенденції розвитку) : монографія / А. Я. Торопчин [та ін.] – Х. : ХУПС, 2006. – 348 с.
4. Теорія і практика боротьби з малорозмірними низьколітніми цілями (оцінка можливостей, тенденції розвитку засобів протиповітряної оборони) : монографія / І. С. Романченко [та ін.] – Житомир : Полісся, 2011. – 342 с.
5. Загорка О. М. Тактична протиракетна оборона: необхідність, можливості та принципи створення / О. М. Загорка, О. В. Дейнега // Наука і оборона. – 1998. – № 4. – С. 7–13.
6. Довідник з протиповітряної оборони / А. Я. Торопчин [та ін.] – К. : МО України ; Х. : ХВУ, 2003. – 366 с.
7. Коваль М. В. Методичний підхід до визначення критичних об'єктів ураження противника непрямыми діями [Електронний ресурс] / М. В. Коваль, В. В. Коваль, О. М. Загорка // Наука і оборона. – 2022. – № 2. – С. 32–36. – Режим доступу : <https://doi.org/10.33099/2618-1614-2022-19-2-32-36>.
8. Тимошенко Р. І. Ранжирування факторів, що впливають на склад угруповання військ, яке створюється для відбиття агресії / Р. І. Тимошенко, О. М. Загорка, В. О. Колесніков // Збірник наукових праць ЦВСД НУОУ. – 2014. – № 2 (51). – С. 7–12.
9. Тарасов В. М. Розвідувально-ударні, розвідувально-вогневі комплекси (принципи побудови в умовах реалізації концепції мережецентричних війн, оцінка ефективності бойового застосування) : монографія / В. М. Тарасов, Р. І. Тимошенко, О. М. Загорка ; за заг. ред. В. М. Телеліма. – К. : НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2015. – 183 с.