

*Олексій Миколайович Загорка (доктор військових наук, професор)*

*Сергій Васильович Поліщук (кандидат військових наук)*

*Ірина Олексіївна Загорка*

*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ТЕОРІЇ ІГОР ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОСТОРОВОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ РОЗВІДКИ ПОВІТРЯНОГО ПРОТИВНИКА

Під час підготовки та ведення бойових дій повітряний противник шляхом вибору напрямків завдання ударів по об'єктах і військах буде намагатися мінімізувати імовірність ураження засобів повітряного нападу, а протилежна сторона максимізувати цю імовірність, зокрема шляхом побудови раціональної системи розвідки повітряного противника.

Побудова системи розвідки повітряного противника здійснюється в умовах невизначеності напрямків завдання ударів засобами повітряного нападу по об'єктах і військах, а також висот їх застосування. Якщо висоти застосування засобів повітряного нападу можуть бути визначені на основі досвіду минулих війн і збройних конфліктів, то для урахування невизначеності напрямків ударів доцільно використовувати методи, які дозволяють урахувати таку невизначеність.

У статті наведена методика оптимізації просторової структури системи розвідки повітряного противника на підставі використання ігрових методів, що дозволяє урахувати невизначеність напрямків завдання його ударів. За математичну модель оптимізації просторової структури прийнята антагоністична матрична гра з нульовою сумою. Стратегіями радіотехнічних військ є варіанти просторової структури системи розвідки, стратегіями повітряного противника – можливі напрямки завдання його ударів.

При створенні матриці гри визначаються імовірності ураження повітряної цілі, які визначаються із урахуванням імовірності її виявлення системою розвідки та імовірності своєчасної видачі інформації активним засобом протиповітряної оборони. Якщо у матриці гри відсутня сідлова точка, то рішення гри пропонується здійснювати методом ітерацій.

За результатами рішення гри визначаються частоти застосування стратегій протилежними сторонами. Максимальна частота застосування стратегії радіотехнічних військ відповідає раціональному варіанту просторової структури системи розвідки повітряного противника. Максимальна частота застосування стратегії повітряного противника визначає найбільш імовірний напрямок завдання його удару по об'єктах і військах.

Застосування розробленої методики показано на прикладі оптимізації просторової структури системи розвідки повітряного противника.

Методика може використовуватися при створенні радіотехнічними військами системи розвідки повітряного противника.

**Ключові слова:** повітряний противник, система розвідки, просторова структура, методи теорії ігор.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Побудова просторової структури системи розвідки повітряного противника (СРПП), у якій основна роль належить радіолокаційним засобам виявлення повітряних цілей, є найважливішим завданням, що виконується при організації протиповітряної оборони (ППО) об'єктів і військ. Ефективність виявлення засобів повітряного нападу (ЗПН) СРПП і своєчасність видачі по них інформації активним засобам ППО (зенітним ракетним дивізіонам (зрдн) і батареям (зрбатр)) залежить від розміщення позицій радіолокаційних засобів на місцевості, тобто від просторової структури СРПП, і багато в чому визначає надійність прикриття об'єктів і військ від ударів ЗПН. У той же час побудова просторової структури СРПП здійснюється в умовах

невизначеності дій повітряного противника (ПП) по об'єктах і військах, що прикриваються від його ударів, а саме в умовах невизначеності можливих напрямків ударів і висот застосування ЗПН. Тому оптимізація просторової структури СРПП в умовах невизначеності дій ПП є актуальним науковим і практичним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методичні положення оцінювання ефективності функціонування СРПП розглянуто у багатьох працях.

У працях [1, 2] приведені методики оцінювання дальностей та ймовірностей виявлення повітряних цілей радіолокаційними станціями (РЛС) і потрібних рубежів видачі інформації зрдн.

При розв'язанні задачі оптимізації просторової структури СРПП у монографії [3] розглядається

декілька варіантів розташування позицій РЛС на місцевості і декілька напрямків ударів ПП. За оптимальний приймається варіант, при якому забезпечується кругове виявлення повітряних цілей з потрібною дальністю і максимально можливою кратністю перекриття зон виявлення РЛС за напрямками ударів ПП.

У статті [4] оптимізація просторової структури СРПП також здійснюється за варіантами її побудови, які відрізняються розташуванням позицій РЛС на місцевості. При розв'язанні задачі оптимізації урахуються прогнозовані висоти польоту ЗПН і напрямки завдання ударів ПП по об'єктах і військах. Для оцінювання важливості напрямків ударів ЗПН застосовується експертний метод ранжування. Раціональна просторова структура СРПП визначається за максимумом ефективності функціонування СРПП, яка оцінюється математичним сподіванням відносної величини кількості ЗПН зі складу удару, що виявленні і по яким своєчасно видана інформація активним засобом ППО. За сутністю у статті [4] удосконалені методичні положення щодо оптимізації просторової структури СРПП, які наведені у монографії [3].

Застосування методичних підходів, що наведені у працях [3, 4], зокрема методів експертного оцінювання для ранжирування напрямків ударів ПП, не дає можливість однозначно визначити розподіл ЗПН при завданні їх ударів по об'єктах і військах. Тому доцільно в умовах невизначеності напрямків завдання ударів при оптимізації просторової структури СРПП використовувати ігрові методи.

**Мета статті** полягає у розробленні методичних положень оптимізації просторової структури СРПП із використання ігрових методів.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Побудова СРПП зазвичай здійснюється відповідно до вже збудованої системи зенітного ракетного прикриття об'єктів і військ від ударів ПП. Тому можна вважати, що при оптимізації просторової структури СРПП розміщення на місцевості позицій зрдн та збртр відоме.

При оптимізації просторової структури СРПП розглядається  $N$  її варіантів,  $K$  напрямків ударів повітряного противника,  $R$  діапазонів висот застосування ЗПН. За показник оптимізації просторової структури СРПП прийнята ймовірність ураження повітряної цілі, яка із урахуванням праць [1, 2, 4] визначається за формулою

$$E_{ik} = \sum_r V_r P_{ir}^B P_{irk}^{CB} W_r; \quad i = \overline{1, N}; \quad r = \overline{1, R}; \quad k = \overline{1, K}, \quad (1)$$

де  $V_r$  – коефіцієнт, який характеризує розподіл ЗПН за діапазонами висот,  $\sum_r V_r = 1$ ;

$P_{ir}^B$  – ймовірність виявлення повітряної цілі у  $r$ -му діапазоні висот при  $i$ -му варіанті просторової структури СРПП;

$P_{irk}^{CB}$  – ймовірність своєчасної видачі інформації

про ЗПН, що здійснюють удар з  $k$ -го напрямку у  $r$ -му діапазоні висот при  $i$ -му варіанті просторової структури СРПП;

$W_r$  – умовна ймовірність ураження повітряної цілі зрдн (збртр) у  $r$ -му діапазоні висот.

Ймовірність  $P_{jr}^B$  визначається за відомою формулою [1 – 3]

$$P_{jr}^B = 1 - 0,5^{K_{пjr}}, \quad (2)$$

де  $K_{пjr}$  – коефіцієнт перекриття РЛП для  $j$ -го варіанта просторової структури СРПП і застосуванні ЗПН у  $r$ -му діапазоні висот.

Для розрахунку ймовірності  $P_{irk}^{CB}$  необхідно визначити дальність виявлення ЗПН СРПП і потрібну дальність видачі інформації активним засобом ППО.

При оперативно-тактичних розрахунках зазвичай використовують дальність виявлення цілі  $D_{в0,5}$  із ймовірністю 0,5, яка задається у тактико-технічних характеристиках РЛС для ефективної поверхні розсіювання повітряної цілі  $1 \text{ м}^2$ . Для визначення дальності виявлення цілі у  $r$ -му діапазоні висот використовується формула [2, 4]

$$D_{вр} = D_{в0,5r} K_1 K_2 K_3 K_4, \quad (3)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт стиснення зони виявлення з урахуванням рівня перешкод;

$K_2$  – коефіцієнт стиснення зони виявлення, який враховує рельєф місцевості;

$K_3$  – коефіцієнт змінювання дальності виявлення з урахуванням ЕПР цілі;

$K_4$  – коефіцієнт перерахунку дальності виявлення для заданого значення ймовірності виявлення цілі.

Задача визначення потрібної дальності виявлення повітряної цілі розв'язується у параметричній системі координат (рис. 1).

Потрібна дальність виявлення повітряної цілі [4]

$$S_{jrk}^{B, \text{потр}} = \sqrt{D_{урr}^2 - P_{зднк}^2 - \Delta S_{jk} + V_{ц}(t_3 + t_{зап} + t_{бг} + T_{цг})}, \quad (4)$$

де  $D_{урr}$  – дальність до дальньої межі зони ураження зрдн у  $r$ -му діапазоні висот;

$P_{зднк}$  – параметр польоту цілі при  $k$ -му напрямку удару ЗПН;

$\Delta S_{jk}$  – відстань між РЛС і зрдн у  $j$ -му варіанті просторової структури СРПП при дії ЗПН з  $k$ -го напрямку;

$V_{ц}$  – швидкість польоту ЗПН;

$t_3$  – час затримки видачі даних про ціль від РЛС;

$t_{зап}$  – час запізнення приймання даних про ціль у пункті призначення;

$t_{бг}$  – час переведення зрдн у готовність до бойового застосування;

$T_{цг}$  – цикл стрільби зрдн для  $r$ -го діапазону висоти.

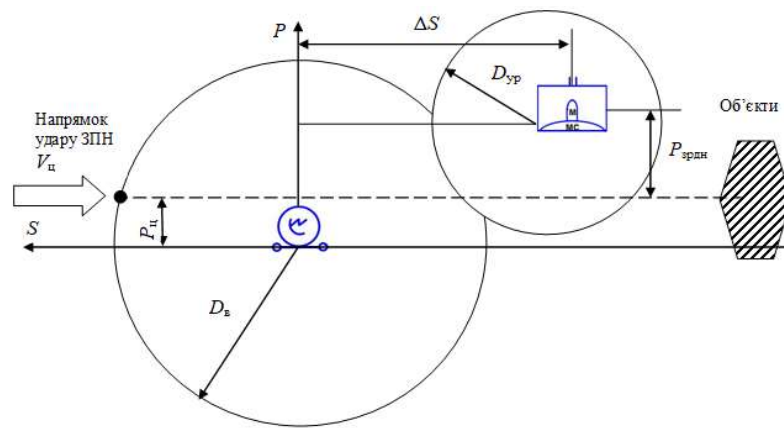


Рис 1. Схема для визначення потрібної дальності виявлення повітряної цілі

Середня дальність виявлення повітряної цілі у параметричній системі координат дорівнює

$$S_{irk}^B = \sqrt{D_{в\,irk}^2 - P_{ц\,irk}^2} \quad (5)$$

Імовірність  $P_{irk}^{CB}$  визначається за формулою

$$P_{irk}^{CB} = \Phi^* \left( \frac{S_{irk}^B - S_{irk}^{B\,потр}}{\sigma_{Sirk}} \right), \quad (6)$$

де  $\Phi^*$  – нормальна функція розподілу;

$\sigma_{Sirk}$  – середнє квадратичне відхилення дальності виявлення цілі.

Під час ведення бойових дій ПП шляхом вибору напрямків завдання ударів по об'єктах і військах намагатиметься мінімізувати імовірність ураження ЗПН, а протилежна сторона – максимізувати цю

імовірність, зокрема шляхом побудови раціональної СРПП.

У даному випадку математичною моделлю оптимізації просторової структури СРПП можна вважати антагоністичну матричну гру з нульовою сумою [5]. Під грою розуміють спрощену, схематизовану конфліктну ситуацію. Від реальної ситуації гра відрізняється тим, що здійснюється за визначеними правилами, сукупність яких називають стратегіями. У нашому випадку напрямки ударів по об'єктах і військах утворюють стратегії ПП, а варіанти просторової структури СРПП – стратегії протилежної сторони (наших сил). Елементами матриці гри є імовірності ураження повітряної цілі  $E_{ik}$ . Вигляд матриці гри наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Вигляд матриці гри

Стратегії наших сил (варіанти просторової структури СРПП)	Стратегії дій повітряного противника (напрямки завдання ударів)					
	$B_1$	$B_2$	...	$B_k$	...	$B_K$
$A_1$	$E_{11}$	$E_{12}$		$E_{1k}$		$E_{1K}$
$A_2$	$E_{21}$	$E_{22}$		$E_{2k}$		$E_{2K}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$A_i$	$E_{i1}$	$E_{i2}$	...	$E_{ik}$	...	$E_{iK}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$A_N$	$E_{N1}$	$E_{N2}$	...	$E_{Nk}$	...	$E_{NK}$

Відповідно до теорії ігор [5, 6] номери рядків і та стовпців k відповідають чистим стратегіям. Пара чистих стратегій  $(i, k)$  утворює ігрову ситуацію.

Сукупність імовірностей  $q_i (i = \overline{1, N})$ ,  $f_k (k = \overline{1, K})$ , з якими протидіючі сторони можуть реалізувати свої чисті стратегії, називають змішаними стратегіями  $S_A = (q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_N)$ ,  $S_B = (f_1, f_2, \dots, f_k, \dots, f_K)$ .

Оптимальною вважається стратегія, яка забезпечує для протидіючих сторін максимальне або мінімальне значення показника  $E_{ik}$ . З метою визначення оптимальних стратегій здійснюється рішення гри. При цьому насамперед визначається нижня і верхня ціна гри за формулами:

$$\begin{aligned} \alpha &= \max_{i \leq N} \min_{k \leq K} E_{ik}; \\ \beta &= \min_{k \leq K} \max_{i \leq N} E_{ik}. \end{aligned} \quad (7)$$

При  $\alpha = \beta$  має місце гра із сідловою точкою. У

матриці такої гри існує елемент, який є одночасно мінімальним у своєму рядку і максимальним у своєму стовбці. Такий елемент матриці називають сідловою точкою, якій відповідає пара оптимальних стратегій, тобто рішення гри у чистих стратегіях.

Коли сідловка точка відсутня, рішення гри здійснюється у змішаних стратегіях. Ціна гри зі змішаними стратегіями  $V$  знаходиться між нижньою і верхньою ціною, тобто

$$\alpha \leq V \leq \beta. \quad (8)$$

Для визначення імовірностей  $q_i (i = \overline{1, N})$ ,  $f_k (k = \overline{1, K})$  можуть використовуватися методи лінійного програмування та ітерацій [5, 6].

Найбільш простим є метод ітерацій (інакше метод Брауна – Робінсона). Добрі наближення методу можна отримати вже при 15 ітераціях. Сутність методу ітерацій полягає у багаторазовому

програнні гри. При цьому кожного разу сторони обирають найкращі стратегії з урахуванням усіх раніше обраних стратегій.

Імовірності (частоти) застосування стратегій  $q_i$ ,  $f_k$  визначаються як відношення кількості реалізованих визначених стратегій до кількості ітерацій. Під час розрахунків використовується

накопичене максимальне (мінімальне) значення показника ефективності.

Структурна схема алгоритму визначення оптимальних змішаних стратегій наведено на рис. 2. Структурна схема методики оптимізації просторової структури СРПП приведена на рис. 3.

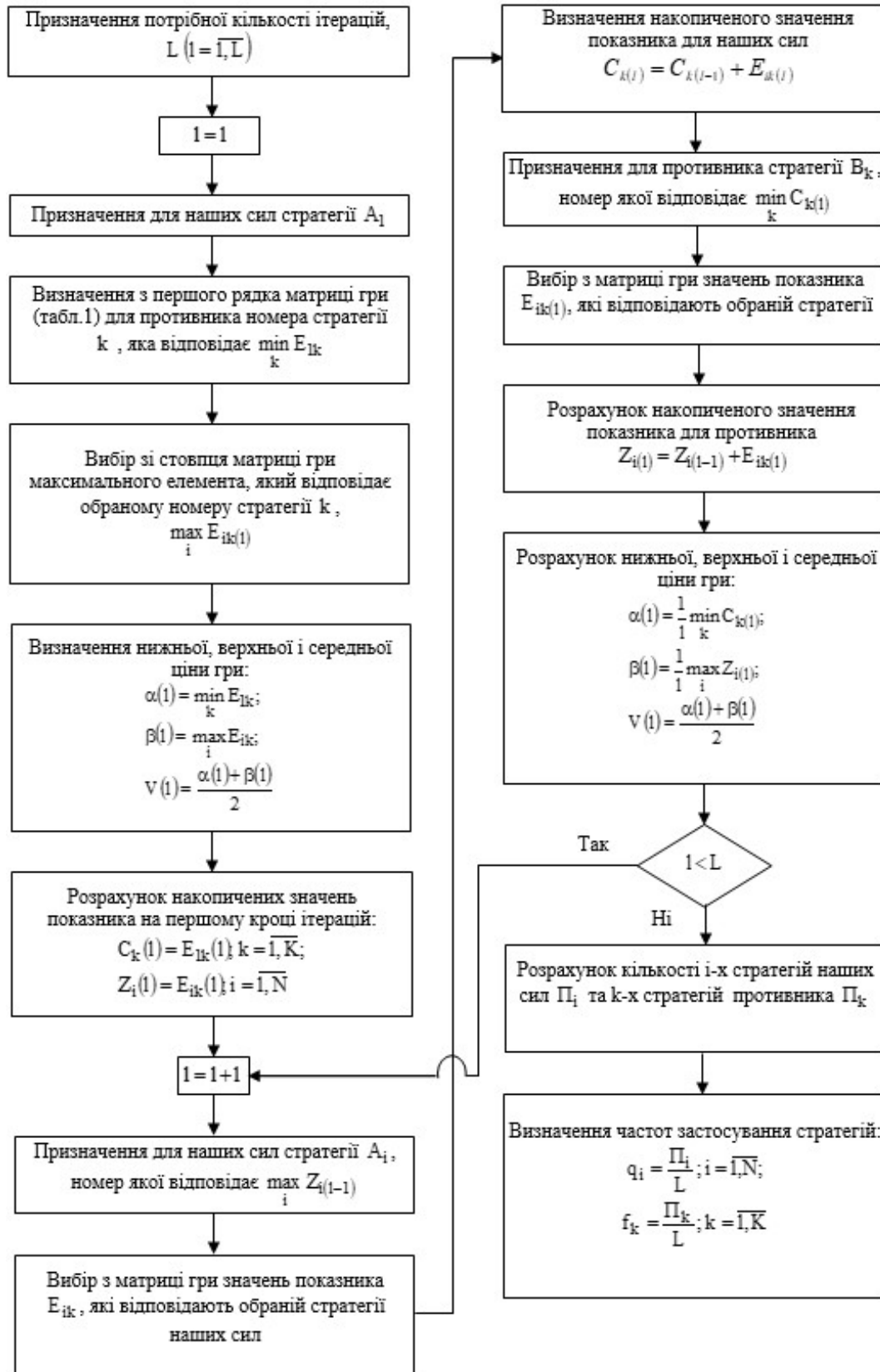


Рис. 2. Структурна схема алгоритму визначення оптимальних змішаних стратегій

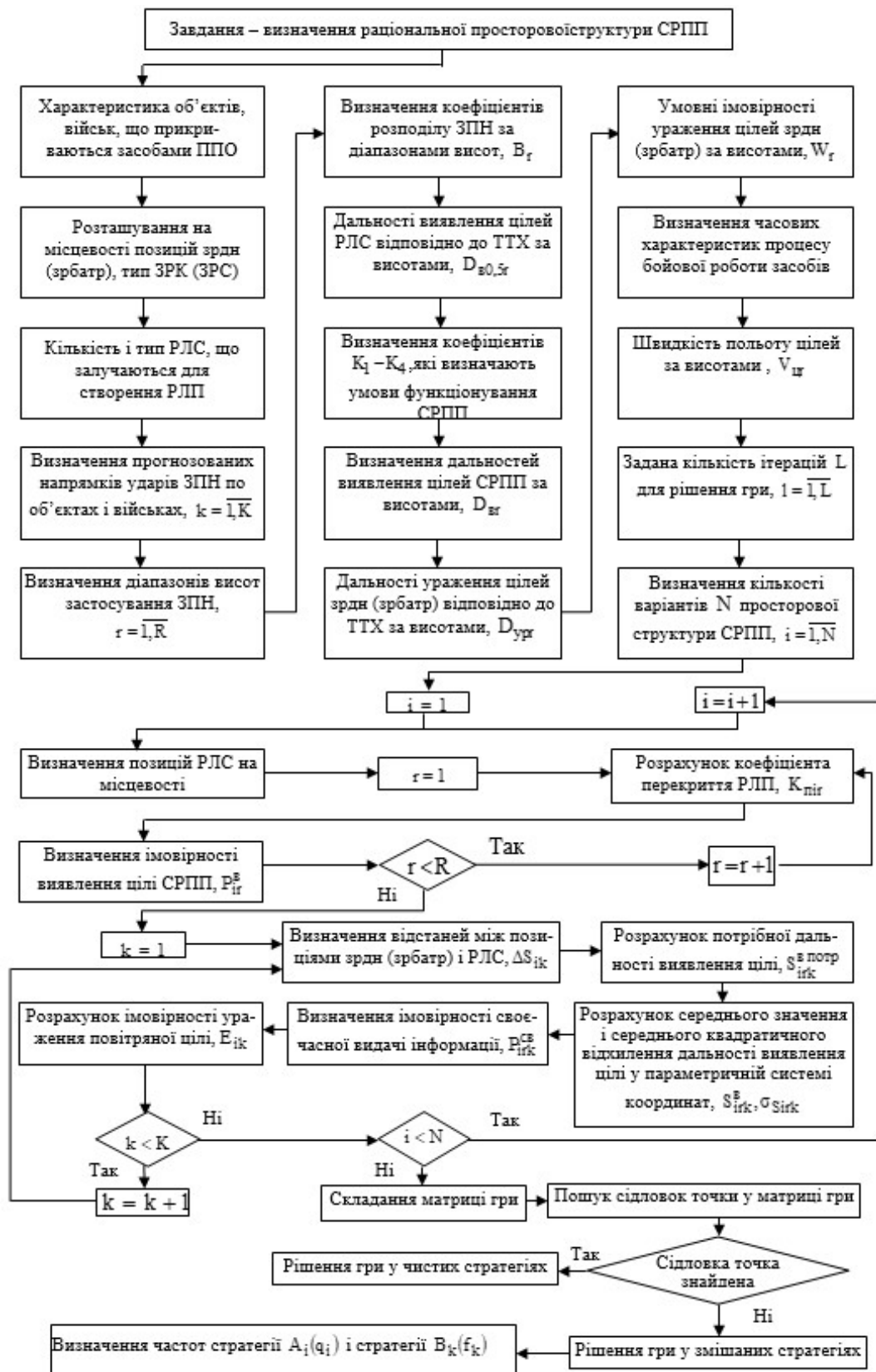


Рис. 3. Структурна схема методики оптимізації просторової структури СРПП

Раціональній просторовій структурі СРПП відповідає варіант, для якого частота стратегії  $A_i q_i (i = \overline{1, N})$  максимальна. Найбільш імовірно противник буде завдавати удари по об'єктах і військах з напрямку, для якого частота стратегії  $B_k f_k (k = \overline{1, K})$  також максимальна.

Як приклад, розглянемо визначення просторової структури СРПП з вихідними даними, що наведені у праці [4], у якій оптимізація здійснювалась на підставі максимізації ефективності функціонування СРПП, яка оцінюється математичним сподіванням відносної величини кількості ЗПН зі складу удару, що

виявленні і по яких своєчасно видана інформація активним засобам ППО. При оптимізації просторової структури СРПП також аналізується дія ЗПН із чотирьох можливих напрямків ( $K = 4$ ) і п'яти діапазонів висот їх застосування ( $R = 5$ ). Розглядається п'ять варіантів просторової структури СРПП ( $N = 5$ ).

Вихідні дані і результати розрахунку імовірностей ураження повітряної цілі для першого варіанту просторової структури СРПП наведені у табл. 2.

Аналогічно розраховані імовірності ураження цілі для решти варіантів просторової структури СРПП і складена матриця гри (табл. 3).

Нижня і верхня ціна гри дорівнює  $\alpha = 0,45; \beta = 0,47$ .

Враховуючи, що  $\alpha \neq \beta$ , рішення гри здійснюється у змішаних стратегіях.

Порядок рішення гри з використанням методу ітерацій наведено у табл. 4.

Таблиця 2

Вихідні дані і результати розрахунку імовірностей ураження повітряної цілі для першого варіанту просторової структури СРПП

Номер напрямку удару, $k$	Номер діапазону висот, $r$	Висота польоту ЗПН, км	Коефіцієнт розподілу висот, $B_r$	Імовірність виявлення цілі, $P_{lr}^{Bv}$	Імовірність своєчасної видачі інф., $P_{lrk}^{CB}$	Умвна імовірність ураження цілі, $W_r$	Імовірність ураження цілі, $E_{lk}$
1	1	0,3	0,15	0,52	0,21	0,60	0,41
	2	2,0	0,40	0,67	0,64	0,79	
	3	4,0	0,25	0,74	0,98	0,80	
	4	6,0	0,15	0,81	0,99	0,78	
	5	10,0	0,05	0,84	0,99	0,70	
2	1	0,3	0,15	0,52	0,44	0,60	0,50
	2	2,0	0,40	0,67	0,98	0,79	
	3	4,0	0,25	0,74	0,99	0,80	
	4	6,0	0,15	0,81	0,99	0,78	
	5	10,0	0,05	0,84	0,99	0,70	
3	1	0,3	0,15	0,52	0,80	0,60	0,51
	2	2,0	0,40	0,67	0,95	0,79	
	3	4,0	0,25	0,74	0,99	0,80	
	4	6,0	0,15	0,81	0,99	0,78	
	5	10,0	0,05	0,84	0,99	0,70	
4	1	0,3	0,15	0,52	0,90	0,60	0,52
	2	2,0	0,40	0,67	0,99	0,79	
	3	4,0	0,25	0,74	0,99	0,80	
	4	6,0	0,15	0,81	0,99	0,78	
	5	10,0	0,05	0,84	0,99	0,70	

Таблиця 3

Матриця гри

Стратегії наших сил (варіанти просторової структури СРПП)	Стратегії дій повітряного противника (напрямки завдання повітряних ударів)			
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$
$A_1$	0,41	0,50	0,51	0,52
$A_2$	0,43	0,38	0,45	0,47
$A_3$	0,45	0,49	0,55	0,51
$A_4$	0,47	0,42	0,39	0,35
$A_5$	0,38	0,52	0,40	0,49

Таблиця 4

Порядок рішення гри зі змішаними стратегіями

Номер ітерації, $l$	Номер стратегії наших сил, $l$	Накопичені значення показника для наших сил				Номер стратегії противника, $l$	Накопичені значення показника для противника					Ціна гри		
		$C_{1(l)}$	$C_{2(l)}$	$C_{3(l)}$	$C_{4(l)}$		$Z_{1(l)}$	$Z_{2(l)}$	$Z_{3(l)}$	$Z_{4(l)}$	$Z_{5(l)}$	$\alpha(l)$	$\beta(l)$	$V(l)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	0,41	0,50	0,51	0,52	1	0,41	0,43	0,45	0,47	0,38	0,41	0,47	0,44
2	4	0,88	0,92	0,90	0,87	4	0,93	0,90	0,96	0,82	0,87	0,43	0,48	0,46
3	3	1,33	1,41	1,45	1,38	1	1,34	1,33	1,41	1,39	1,25	0,44	0,47	0,46
4	3	1,78	1,90	2,00	1,89	1	1,75	1,76	1,86	1,86	1,63	0,44	0,46	0,45
5	4	2,25	2,32	2,39	2,24	4	2,27	2,23	2,37	2,21	2,12	0,45	0,47	0,46
6	3	2,66	2,82	2,90	2,76	1	2,68	2,66	2,82	2,68	2,50	0,44	0,47	0,46
7	3	3,11	3,31	3,45	3,27	1	3,09	3,09	3,27	3,15	2,88	0,44	0,47	0,46

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
8	3	3,56	3,80	4,00	3,77	1	3,50	3,52	3,72	3,62	3,26	0,44	0,46	0,45
9	3	4,01	4,29	4,55	4,28	1	3,91	3,95	4,17	4,09	3,64	0,44	0,46	0,45
10	3	4,46	4,78	5,10	4,79	1	4,32	4,38	4,62	4,56	4,02	0,45	0,46	0,45
11	3	4,91	5,27	5,65	5,30	1	4,73	4,81	5,07	5,03	4,40	0,44	0,46	0,45
12	3	5,36	5,76	6,20	5,81	1	5,14	5,24	5,52	5,50	4,78	0,45	0,46	0,45
13	3	5,81	6,25	6,75	6,32	1	5,55	6,67	5,97	5,97	5,16	0,44	0,46	0,45
14	4	6,28	6,67	7,14	6,67	1	5,96	6,10	6,42	6,44	5,54	0,44	0,46	0,45
15	4	6,75	7,09	7,53	7,02	1	6,37	6,53	6,87	6,91	5,92	0,45	0,46	0,45
16	4	7,22	7,51	7,92	7,37	1	6,78	6,96	7,32	7,38	6,30	0,45	0,46	0,45
17	4	7,69	7,93	8,31	7,72	1	7,19	7,39	7,77	7,85	6,68	0,45	0,46	0,45
18	4	8,16	8,35	8,70	8,07	4	7,71	7,86	8,28	8,20	7,17	0,44	0,46	0,45
19	3	8,61	8,84	9,25	8,58	4	8,23	8,33	8,79	8,55	7,66	0,45	0,46	0,45
20	3	9,06	9,33	9,80	9,09	1	8,64	8,76	9,24	9,02	8,04	0,45	0,46	0,45

За результатами обчислень частоти застосування стратегій дорівнюють:

$$q_1 = 0,05; q_2 = 0; q_3 = 0,60; q_4 = 0,35; q_5 = 0; \\ f_1 = 0,80; f_2 = 0; f_3 = 0; f_4 = 0,20.$$

Таким чином, раціональним є третій варіант просторової структури СРПП, що не суперечить результатам, які отримані у праці [4]. Найбільш ймовірним є перший напрямок завдання ударів ЗПН по об'єктах і військах, що прикриваються силами і засобами ППО.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

На підставі застосування ігрових методів розроблено методику оптимізації просторової структури системи розвідки повітряного противника. У методиці за стратегії радіотехнічних військ прийняті варіанти просторової структури СРПП, за стратегії повітряного противника –

### Література

1. **Городнов В.П.** Моделирование бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку): Монографія / Городнов В.П., Дробаха Г.А., Ермошин М.О., Смірнов Є.Б. – Харків: ХВУ, 2004. – 410с.  
2. **Романченко І.С.** Теорія і практика боротьби з малорозмірними низьколітніми цілями (оцінка можливостей, тенденції розвитку засобів протиповітряної оборони): монографія / І.С. Романченко, О.М. Загорка, С.Г. Бутенко, О.В. Дейнега. – Житомир: “Полісся”, 2011. – 344 с.  
3. **Ярош С.П.** Теоретичні основи побудови та застосування розвідувально-управляючих

можливі напрямки ударів ЗПН по об'єктах і військах.

Матрицю гри утворюють імовірності ураження повітряної цілі, які визначаються із урахуванням імовірності її виявлення СРПП та імовірності своєчасної видачі інформації активним засобам ППО. При відсутності у матриці гри сідлової точки запропоновано для рішення гри використовувати метод ітерацій.

Методика дозволяє визначити раціональний варіант просторової структури СРПП і найбільш ймовірний напрямок завдання удару ЗПН по об'єктах і військах.

Застосування методики показано на прикладі.

У подальшому на підставі наведених методичних положень доцільно розробити спеціальне математичне програмне забезпечення для використання органами військового управління.

інформаційних систем протиповітряної оборони: монографія / С. Ярош; за заг. ред. І.О. Кириченка. – Х.: ХУПС, 2012. – 512 с.  
4. **Загорка О.М.,** Поліщук С.В., Загорка І.О. Методика визначення раціональної просторової структури системи радіолокаційної розвідки повітряного противника / Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2021. – №1(40). – С. 5-12.  
5. **Венцель Е.С.** Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972. – 551 с.  
6. **Дрешер М.** Стратегические игры: теория и приложения: пер. с англ. – М.: Советское радио, 1964. – 352 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ИГР ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ РАЗВЕДКИ ВОЗДУШНОГО ПРОТИВНИКА

*Алексей Николаевич Загорка (доктор военных наук, профессор)*

*Сергей Васильевич Полищук (кандидат военных наук)*

*Ирина Алексеевна Загорка*

*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

*При подготовке и ведении боевых действий воздушный противник путем выбора направлений нанесения ударов по объектам и войскам будет пытаться минимизировать вероятность поражения средств воздушного нападения, а противоположная сторона максимизировать эту вероятность, в частности, путем построения рациональной системы разведки воздушного противника.*

*Построение системы разведки воздушного противника осуществляется в условиях неопределенности направлений нанесения ударов средствами воздушного нападения по объектам и войскам, а также по высотам их применения. Если высоты применения средств воздушного нападения могут быть определены на основе опыта прошлых войн и вооруженных конфликтов, то для учета неопределенности направлений ударов целесообразно использовать методы, позволяющие учитывать такую неопределенность.*

В статті представлена методика оптимізації просторової структури системи розвідки повітряного противника на основі використання ігрових методів, що дозволяють враховувати неопределенність напрямків нанесення його ударів. За математичною моделлю оптимізації просторової структури прийнята антагоністична матрична гра з нульовою суммою. Стратегіями радіотехнічних військ є варіанти просторової структури системи розвідки, стратегіями повітряного противника – можливі напрямки нанесення його ударів.

При створенні матриці гри визначаються ймовірності поразки повітряної цілі, визначені з урахуванням ймовірності її виявлення системою розвідки та ймовірності своєчасної видачі інформації активним засобам протиповітряної оборони. Якщо у матриці гри відсутня седлова точка, то рішення гри пропонується виконувати методом ітерацій.

За результатами рішення гри визначаються частоти застосування стратегій протилежними сторонами. Максимальна частота застосування стратегії радіотехнічних військ відповідає раціональному варіанту просторової структури системи розвідки повітряного противника. Максимальна частота застосування стратегії повітряного противника визначає найбільш ймовірне напрямки нанесення його удару по об'єктам та військам.

Застосування розробленої методики показано на прикладі оптимізації просторової структури системи розвідки повітряного противника.

Методика може використовуватися при створенні радіотехнічними військами системи розвідки повітряного противника.

**Ключові слова:** повітряний противник, система розвідки, просторова структура, методи теорії ігор.

## APPLICATION OF GAME THEORY METHODS IN OPTIMIZATION OF SPATIAL STRUCTURE OF THE RECONNAISSANCE SYSTEM OF THE AIR ENEMY

*Oleksii Zahorka (Doctor of Military Sciences, Professor)*

*Serhii Polishchuk (Candidate of Military Sciences)*

*Iryna Zahorka*

*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine*

*During the preparation and conduct of hostilities, the enemy air force will try to minimize the probability of damage to the means of air attack by choosing the direction of target strikes on targets and troops. At the same time, the opposite side will try to maximize this probability, in particular by building a rational reconnaissance system of the air enemy.*

*The construction of the reconnaissance system of the air enemy is carried out in the conditions of uncertainty of the directions of strikes by air attack means on objects and troops, as well as the heights of their application. If the heights of application air attack means can be determined on the basis of the experience of past wars and armed conflicts, it is advisable to use methods that take into account such uncertainty to take into account the uncertainty of the directions of strikes.*

*The article presents a method of optimizing the spatial structure of the reconnaissance system of the air enemy on the basis of the use of game methods, which allows to take into account the uncertainty of the directions of its strikes. An antagonistic matrix game with zero sum is taken as a mathematical model of spatial structure optimization. The strategies of the radio engineering troops are variants of the spatial structure of the reconnaissance system, and the strategies of the air enemy are possible directions for the purpose of its air strikes.*

*When creating a game matrix, the probabilities of hitting an air target are determined, taking into account the probability of its detection by the reconnaissance system and the probability of timely issuance of information to active air defense means. If there is no saddle in the game matrix, the game solution is proposed to be carried out by the method of iteration.*

*Based on the results of the game decision, the frequencies of application of strategies by opposite parties are determined. The maximum frequency of application of the strategy of the radio engineering troops corresponds to a rational variant of the spatial structure of the reconnaissance system of the air enemy. The maximum frequency of application of the strategy of the air enemy determines the most likely direction of its attack on objects and troops.*

*The application of the developed technique is shown on the example of optimization of the spatial structure of the reconnaissance system of the air enemy.*

*The technique can be used by the radio engineering troops when creating an reconnaissance system of the air enemy.*

**Keywords:** *air enemy, reconnaissance system, spatial structure, methods of game theory.*