

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗАСТОСУВАННЯ РОДІВ ВІЙСЬК ТА СПЕЦІАЛЬНИХ ВІЙСЬК ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

DOI 10.33099/2786-7714-2023-1-4-32-39

УДК 355.424.4

Загорка Олексій Миколайович (доктор військових наук, професор)

<https://orcid.org/0000-0003-1131-0904>

Поліщук Сергій Васильович (кандидат військових наук)

<https://orcid.org/0000-0001-9050-6918>

Загорка Ірина Олексіївна

<https://orcid.org/0000-0002-0693-1434>

Національний університет оборони України, Київ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПІВ ТЕОРІЇ МАРКОВСЬКИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИКРИТТЯ ОБ'ЄКТІВ ЗАСОБАМИ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ ВІД УДАРІВ КРИЛАТИХ РАКЕТ

Значна роль у вирішенні завдань ураження найбільш важливих об'єктів у воєнних конфліктах належить крилатим ракетам повітряного і морського базування. Крилаті ракети є складними цілями для засобів протиповітряної оборони. Це пов'язано особливостями їх застосування та малою радіолокаційною і тепловою помітністю.

При організації протиповітряної оборони об'єктів виникає необхідність оцінювати ефективність їх прикриття від ударів крилатих ракет. За показник ефективності прийнята імовірність збереження об'єктів від ударів крилатих ракет. Вона визначається із використанням принципів теорії марковських випадкових процесів. Відповідно до процесу відбиття удару крилатих ракет побудований граф станів системи (об'єкт ураження, засоби протиповітряної оборони), визначені інтенсивності переходів системи із стану в стан і складена система диференціальних рівнянь. Розв'язання даної системи диференціальних рівнянь дозволило отримати вирази для визначення імовірності збереження об'єкту в залежності від тривалості удару крилатих ракет.

Ключові слова: об'єкт удару, крилаті ракети, засоби протиповітряної оборони, імовірність збереження об'єкта, марковські випадкові процеси.

Вступ

Загроза застосування у воєнному конфлікті таких ефективних засобів повітряного нападу (ЗПН) як крилаті ракети (КР) повітряного і морського базування змушує приділяти особливу увагу захисту важливих об'єктів держави (атомних електростанцій, адміністративних центрів, об'єктів хімічної промисловості, крупних вузлів комунікацій, аеродромів та інше) від їх ударів [1, 3, 5].

Зазвичай організовується безпосереднє (локальне) прикриття важливих об'єктів від ударів КР силами і засобами протиповітряної оборони (ППО) у загальній системі ППО країни. Це обумовлюється обмеженими можливостями виявлення КР системою радіолокаційної розвідки повітряного противника та малими, у порівнянні із літаками, дальностями їх ураження зенітними ракетними комплексами (ЗРК).

При організації ППО об'єктів виникає необхідність оперативно оцінювати ефективність їх

прикриття від ударів КР, що потребує застосування для цього відповідних методичних положень.

Матеріали та методи

На теперішній час при дослідженні ефективності бойових дій сил і засобів ППО застосовується багато методик, які ґрунтуються на використанні методів імітаційного моделювання та аналітичних методів.

Принципи побудови детермінованої імітаційно-статистичної та аналітико-стохастичної моделей системи ППО наведені у монографії [4]. З використанням імітаційної моделі оцінюються втрати ЗПН при відбитті їх ударів та втрати об'єктів, що прикриваються силами ППО. Аналітико-стохастична модель дозволяє визначити математичні сподівання кількості знищених ЗПН і кількості уражених ЗРК у протиповітряному бою.

Методики оцінювання математичного сподівання кількості знищених ЗРК ЗПН, зокрема КР, при відбитті удару з використанням методів теорії масового обслуговування наведені у

монографії [5]. У методиках використовуються моделі систем масового обслуговування з відмовами і з обмеженим часом перебування заявок у системі.

Використання коефіцієнтного методу для оцінювання математичного сподівання кількості знищених цілей угрупованням зенітних ракетних військ наведено у монографії [6]. При визначенні показника ефективності здійснюється множення коефіцієнтів, які характеризують участь ЗРК у відбитті удару ЗПН, бойову готовність ЗРК, ефективність системи управління, вплив малих висот, маневру цілей.

Проте у монографіях [4–6] окремо не розглядаються питання щодо оцінювання ефективності безпосереднього (локального) прикриття засобами ППО об'єктів від ударів КР. За допомогою наведених методик в основному визначаються вогневі можливості системи ППО або ЗРК., які оцінюються кількістю знищених ЗПН при відбитті удару. Це не в повній мірі характеризує ефективність прикриття об'єктів засобами ППО від ударів КР. Найбільш представницьким показником для оцінювання ефективності прикриття об'єктів від ударів ЗПН, зокрема КР, є імовірність їх збереження.

Тому метою статті є розроблення методичних положень для оперативного оцінювання імовірності збереження об'єктів, що прикриваються засобами ППО, від ударів КР.

Результати

Зазвичай прикриття об'єктів від ударів КР здійснюється формуванням ППО у складі командного пункту та декількох зенітних ракетних дивізіонів (зрдн) або зенітних ракетних батарей (зрбатр), [1, 7, 8]. Враховуючи вимогу до оперативності для оцінювання ефективності прикриття об'єктів від ударів КР доцільно використати аналітичний метод (аналітичну модель).

При розробленні аналітичної моделі прийняті такі обмеження і допущення:

наміром противника при завданні удару КР є як знищення об'єкту, так і ЗРК, що застосовуються для його прикриття;

об'єкт, що прикривається засобами ППО, може складатися із елементарних об'єктів, по яким завдається удар КР;

перед початком відбиття удару КР всі ЗРК вважаються боездатними, повністю укомплектованими зенітними керованими ракетами (ЗРК);

перезарядження ЗРК ракетами під час відбиття удару КР не відбувається;

обстріл КР здійснюється обмеженою кількістю ЗРК відповідно до Правил стрільби для ЗРК;

витрати ЗРК при відбитті удару КР повинні не перевищувати боєкомплект ЗРК, що визначає обмеження за можливою кількістю КР в ударі, який досліджується;

один канал ЗРК може обстріляти тільки одну з КР, що одночасно входять у зону ураження;

маневр ЗРК під час відбиття удару КР не здійснюється;

імовірності виявлення КР та їх ураження, час обстрілу КР ЗРК задаються у вихідних даних методики відповідно до тактико-технічних характеристик ЗРК;

середня ефективна поверхня розсіювання (ЕПР) КР у сантиметровому діапазоні хвиль приймається $0,2 \text{ м}^2$ [5].

Враховуючи наведені допущення, (противник буде завдавати удар КР не тільки по об'єкту, а і по засобах ППО), відповідно [11] об'єкт і засоби ППО доцільно розглядати як систему, у якій відбувається випадковий марківський процес з дискретною множиною станів і безперервним часом. Вважається, що перехід системи із одного стану в інший відбувається під впливом пуассонівського потоку подій визначеної інтенсивності.

Відповідно до праць [12, 13] побудова імовірнісної моделі такої системи здійснюється у такій послідовності:

визначається множина можливих станів системи;

визначаються потоки подій, під впливом яких система переходить із одного стану в інший (інтенсивність переходів), і будується граф станів;

складається система диференціальних рівнянь імовірностей станів системи.

Можливі стани системи (об'єкт ураження, засоби ППО) визначаються у припущенні, що КР призначаються для ураження m цілей (ціль №1 – об'єкт, цілі № 2, 3, ... m – засоби ППО). Система, що розглядається, може перебувати у таких станах:

S_1 – об'єкт неуражений, всі засоби ППО (ЗРК) боездатні;

S_2 – об'єкт неуражений, ЗРК № 3, 4, ..., m боездатні, ЗРК №2 – уражений;

S_3 – об'єкт неуражений, ЗРК № 4, ..., m боездатні, ЗРК № 2, 3 – уражені;

.....

S_m – об'єкт неуражений, всі ЗРК уражені;

S_{m+1} – об'єкт уражений, всі ЗРК боездатні;

S_{m+2} – об'єкт і ЗРК №2 уражені, ЗРК № 3, 4, ..., m – боездатні;

.....

S_{2m} – об'єкт і всі ЗРК уражені.

Кількість станів системи становить $2m$. Граф станів системи наведений на рис. 1 (інтенсивності переходів системи зі стану S_i в стан S_j позначені через $\lambda_{i,j}$, $i = 1, 2m - 1$; $j = 2, 2m$).

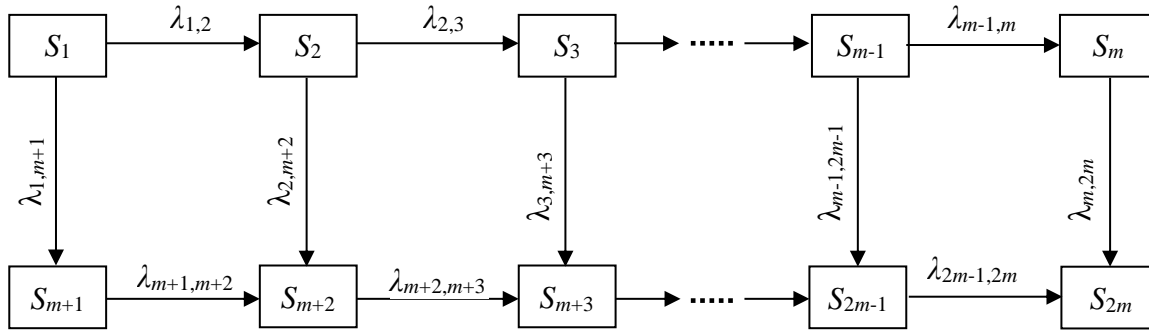


Рисунок 1. Граф станів системи (об'єкт ураження, засоби ППО)

Система диференційних рівнянь Колмогорова, яка створена відповідно до правил, що викладені в [12, 13], має вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_1}{\partial t} &= -(\lambda_{1,2} + \lambda_{1,m+1})P_1; \\ \frac{\partial P_2}{\partial t} &= \lambda_{1,2}P_1 - (\lambda_{2,3} + \lambda_{2,m+2})P_2; \\ \frac{\partial P_3}{\partial t} &= \lambda_{2,3}P_2 - (\lambda_{3,4} + \lambda_{3,m+3})P_3; \\ \frac{\partial P_m}{\partial t} &= \lambda_{m-1,m}P_{m-1} - \lambda_{m,2m}P_m; \quad (1) \\ \frac{\partial P_{m+1}}{\partial t} &= \lambda_{1,m+1}P_1 - \lambda_{m+1,m+2}P_{m+1}; \\ \frac{\partial P_{m+2}}{\partial t} &= \lambda_{2,m+2}P_2 + \lambda_{m+1,m+2}P_{m+1} - \lambda_{m+2,m+3}P_{m+2}; \\ &\dots\dots\dots \\ \frac{\partial P_{2m-1}}{\partial t} &= \lambda_{m-1,2m-1}P_{m-1} + \lambda_{2m-2,2m-1}P_{2m-2} - \lambda_{2m-1,2m}P_{2m-1}; \\ \frac{\partial P_{2m}}{\partial t} &= 1 - \sum_{i=1}^{2m-1} P_i, \end{aligned}$$

де P_i – імовірність перебування системи в стані S_i , $i = \overline{1, 2m}$.

Виходячи з графу станів (рис.1), імовірність збереження об'єкта від ударів КР визначається за формулою

$$P_{зб} = \sum_i P_i, i = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Відповідно до графу станів системи аналогічно визначаються імовірності ураження або збереження засобів ППО (ЗРК).

При визначенні інтенсивностей переходу системи зі стану S_i в стан S_j приймаються такі припущення:

потік КР, які призначені для ураження об'єкта і засобів ППО, є пуасоновський;

кожна КР із ймовірністю C може бути призначена для ураження об'єкта та із ймовірністю $(1 - C)$ – для ураження одного із засобів ППО (ЗРК);

враховуючи малий час перебування КР в зоні обстрілу ЗРК, імовірність того, що КР не буде обстріляна визначається за формулою Ерланга (для системи масового обслуговування з відмовами);

імовірність розвідки всіх цілей (об'єкт і ЗРК) однакова і дорівнює $P_{розв}$.

Інтенсивність потоку КР в ударі (λ) визначається за формулою

$$\lambda = \frac{N}{T_{уд}}, \quad (3)$$

де N – кількість КР в ударі;

$T_{уд}$ – тривалість удару.

Кількість цільових каналів ЗРК змінюється з їх ураженням КР і для i -го стану системи визначається за формулою

$$n_i = n_1(m - i), i = \overline{1, m}, \quad (4)$$

де n_1 – кількість цільових каналів одного ЗРК.

Аналогічно визначається кількість цільових каналів ЗРК, яка відповідає стану системи $i = m + 1; 2m$.

Імовірність того, що КР не буде обстріляна, визначається за формулою [5, 13]

$$P_{но}(n_i) = \frac{(P_B \lambda t_{обс})^{n_i} \frac{1}{n_i!}}{\sum_{k=0}^{n_i} (P_B \lambda t_{обс})^k \frac{1}{k!}}, \quad (5)$$

де $t_{обс}$ – час обстрілу КР (циклу стрільби ЗРК);

P_B – імовірність виявлення КР ЗРК.

Імовірність визначається із урахуванням функції розподілу дальності виявлення КР ЗРК (рис. 2).

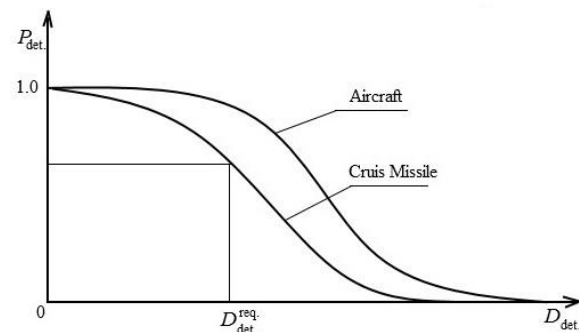


Рисунок 2. Функція розподілу дальностей виявлення ЗРК літака і КР

Зазвичай при полігонних випробуваннях ЗРК визначаються дальності виявлення літаків із відомою ЕПР ($\sigma_{\text{л}}$) і відповідна функція їх розподілу. Для отримання функції розподілу дальності виявлення КР ($D_{\text{в}}^{\text{КР}}$) здійснюється перерахунок дальності виявлення літаків ($D_{\text{в}}^{\text{л}}$) із урахуванням ЕПР КР ($\sigma_{\text{КР}}$) і умов місцевості за формулою

$$D_{\text{в}}^{\text{КР}} = D_{\text{в}}^{\text{л}} \sqrt[4]{\frac{\sigma_{\text{КР}}}{\sigma_{\text{л}}}} K_{\text{м}}, \quad (6)$$

де $K_{\text{м}}$ – коефіцієнт, який характеризує умови місцевості.

Для горбистої місцевості та польоту КР на гранично малих висотах $K_{\text{м}} = 0,35$, а на малих висотах – $K_{\text{м}} = 0,7$ [5].

Потрібна дальність виявлення для обстрілу КР

$$D_{\text{в}}^{\text{потр}} = V_{\text{КР}} t_{\text{обс}}, \quad (7)$$

де $V_{\text{КР}}$ – швидкість польоту КР.

За значенням $D_{\text{в}}^{\text{потр}}$ визначається імовірність виявлення КР ($P_{\text{в}}$) ЗРК.

Вираз для визначення імовірності подолання КР ППО має вигляд

$$P_{\text{под}} = 1 - (1 - P_{\text{но}}) (1 - (1 - E_1)^z), \quad (8)$$

де E_1 – імовірність ураження КР однією ЗРК ЗРК;

z – кількість зенітних керованих ракет ЗРК, що призначається для ураження КР.

Якщо імовірність ураження об'єкта КР становить W_1 , а ЗРК – W_2 , то вирази для розрахунку інтенсивностей переходів системи із одного стану в інший мають вигляд:

$$\begin{aligned} \lambda_{1,2} &= P_{\text{розв}} \lambda P_{\text{под}}(n_1)(1 - C)W_2; \\ \lambda_{2,3} &= P_{\text{розв}} \lambda P_{\text{под}}(n_2)(1 - C)W_2; \\ &\dots\dots\dots \\ \lambda_{m-1,m} &= P_{\text{розв}} \lambda P_{\text{под}}(n_{m-1})(1 - C)W_2; \\ \lambda_{1,m+1} &= P_{\text{розв}} \lambda P_{\text{под}}(n_1)CW_1; \\ \lambda_{2,m+2} &= P_{\text{розв}} \lambda P_{\text{под}}(n_2)CW_1; \\ \lambda_{m,2m} &= P_{\text{розв}} \lambda P_{\text{под}}(n_m)CW_1; \\ \lambda_{m+1,m+2} &= P_{\text{розв}} \lambda P_{\text{под}}(n_1)(1 - C)W_2; \\ \lambda_{m+2,m+3} &= P_{\text{розв}} \lambda P_{\text{под}}(n_2)(1 - C)W_2; \\ &\dots\dots\dots \\ \lambda_{2m-1,2m} &= P_{\text{розв}} \lambda P_{\text{под}}(n_{m-1})(1 - C)W_2; \end{aligned} \quad (9)$$

Початкові умови для розв'язання системи диференціальних рівнянь (1) становлять: $P_1 = 1$, $P_i = 0$, при $i = 2; 2m$.

За попередніми дослідженнями [14] для визначення імовірності збереження об'єкта від удару КР можна урахувати тільки імовірності перебування системи у станах S_1 і S_2 . Похибка у визначенні імовірності P_{36} не перевищує 5 %, що є допустимим для оперативного оцінювання ефективності прикриття об'єкта від ударів КР.

Розв'язання диференціальних рівнянь (1) дає змогу отримати залежності ймовірностей станів системи (об'єкт ураження, засоби ППО) P_i ($i = 1; 2m$) від тривалості удару КР. Вирази для визначення імовірності перших двох станів системи мають вигляд:

$$P_1(t) = e^{-at}; \quad (10)$$

$$P_2 = \frac{\lambda_{1,2}}{b-a} (e^{-at} - e^{-bt}), \quad b > a,$$

де $a = \lambda_{1,2} + \lambda_{1,m+1}$;

$b = \lambda_{2,3} + \lambda_{2,m+2}$.

Математичне сподівання відносної кількості КР, що може потенційно уражатися засобами ППО (усі ЗРК боездатні), визначається за формулою

$$M = (1 - P_{\text{но}}) (1 - (1 - E_1)^z) \quad (11)$$

При цьому, кількість ЗРК, що витрачається при відбитті удару КР, дорівнює

$$N_{\text{ЗКР}} = N(1 - P_{\text{но}})z. \quad (12)$$

На рис. 3 приведена структурна схема методики оцінювання ефективності прикриття об'єкта засобами протиповітряної оборони від удару крилатих ракет.

Відповідно до методики при отриманні імовірності збереження об'єкта (P_{36}) менше заданої ($P_{\text{зад}}$) необхідно корегувати (підсилувати) склад засобів ППО для його прикриття від ударів КР.

Новим у методичних положеннях, що наведені у статті, є побудований граф станів системи (об'єкт, що прикривається, ЗРК) при відбитті удару КР, на підставі якого складена система диференціальних рівнянь. Розв'язання даної системи рівнянь дозволило отримати аналітичні залежності для оперативного оцінювання імовірності збереження об'єкта від удару КР.

Використання даної методики для визначення імовірності збереження об'єкта від удару КР дозволяє більш обґрунтовано оцінювати ефективність виконання завдання щодо його прикриття і обумовлює подальший розвиток (розширення) методичних положень оцінювання ефективності бойових дій військ ППО.

Використання у методиці аналітичного методу дозволяє оперативно оцінювати імовірність збереження об'єкта при різних параметрах удару КР (інтенсивність КР в ударі, тривалість удару), що сприяє практичному застосуванню методики органами військового управління під час організації ППО об'єктів.

Розглянемо приклад оцінювання ефективності прикриття об'єкта від ударів КР трьома трьохканальними зрдн. Початкові дані становлять:

- імовірність виявлення КР $P_{\text{в}} = 0,9$;
- час обстрілу КР ЗРК $t_{\text{обс}} = 1$ хв.;
- імовірність ураження КР однією зенітною ракетою $E_1 = 0,5$;
- кількість зенітних ракет, що призначається для ураження однієї КР, $z = 2$;
- інтенсивність потоку КР $\lambda = 1; 2; 4; 6$ КР/хв.;

імовірність розвідки противником цілей
ураження $P_{розв} = 0,9$;
імовірність призначення КР для ураження
об'єкта $C = 0,7$;
зрдн $(1 - C) = 0,3$;
імовірність ураження об'єкта однією КР
 $W_1 = 0,3$;
імовірність ураження зрдн однією КР $W_2 = 0,6$;
час удару КР $T_{уд} = 2; 4; 6; 8; 10$ хв.
Результати розрахунку ймовірностей $P_{но}$ за
формулою (5) і ймовірностей $P_{подол}$ за формулою (8)

наведенні у табл. 1.

Результати розрахунків за формулами (8)
інтенсивностей переходів системи з одного стану в
інший наведенні у табл. 2.

На рис. 4 наведенні залежності ймовірностей
збереження об'єкта $P_{зб}$ від тривалості удару КР
різної інтенсивності.

Імовірність збереження об'єкта суттєво
залежить від інтенсивності удару КР. Тому
противник буде намагатись зменшувати тривалість
удару КР.

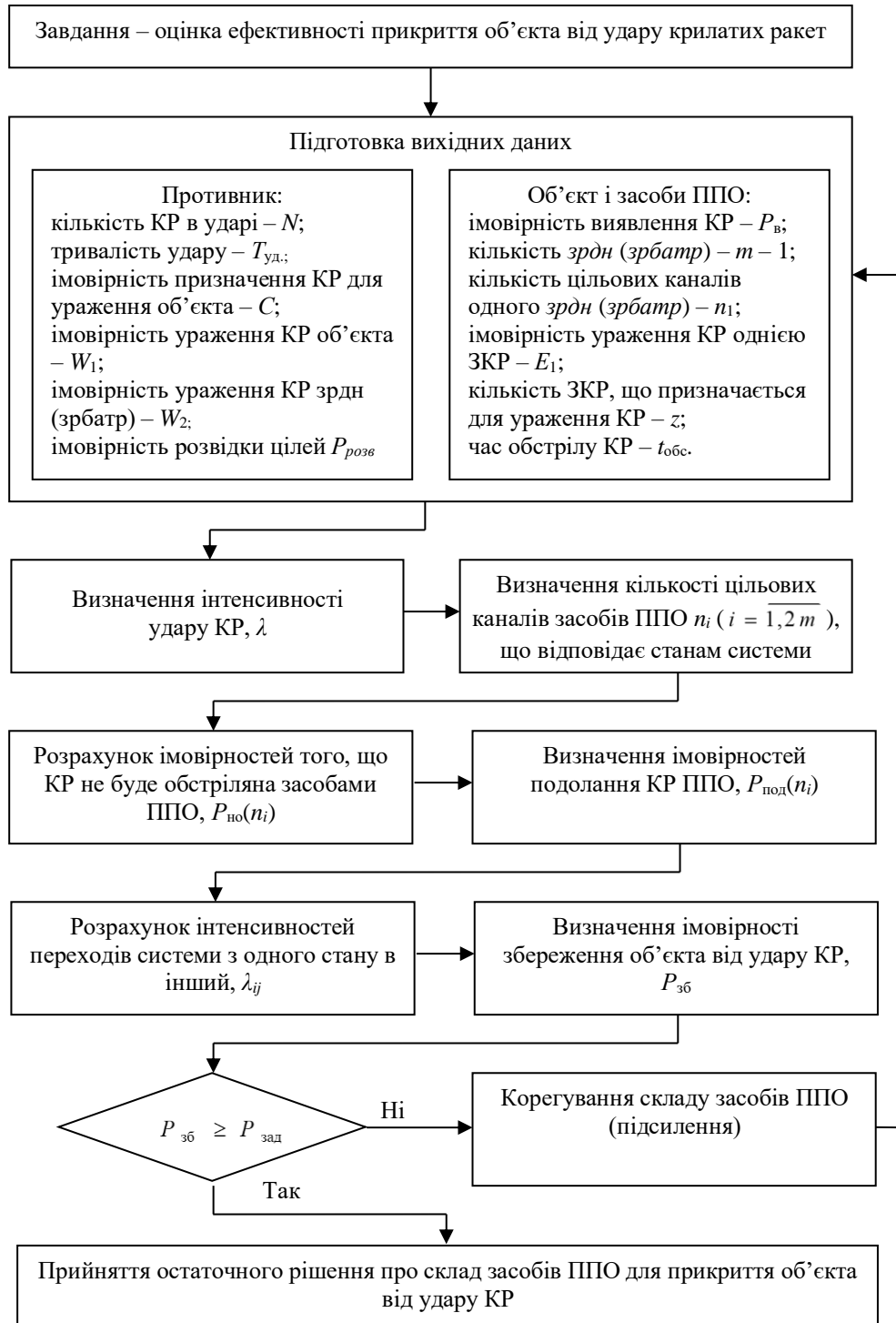


Рисунок 3. Структурна схема методики оцінювання ймовірності збереження об'єкта від удару крилатих ракет

Таблиця 1

Значення ймовірностей $P_{\text{но}}$ і $P_{\text{подол.}}$

Інтенсивність потоку КР (λ), КР/хв.	Загальна кількість цільових каналів засобів ППО					
	3 (один зрдн)		6 (два зрдн)		9 (три зрдн)	
	$P_{\text{но}}$	$P_{\text{подол.}}$	$P_{\text{но}}$	$P_{\text{подол.}}$	$P_{\text{но}}$	$P_{\text{подол.}}$
1	0,062	0,296	0,001	0,251	0	0,250
2	0,210	0,407	0,012	0,259	0,002	0,252
4	0,451	0,588	0,117	0,338	0,013	0,260
6	0,590	0,692	0,265	0,449	0,0750	0,306

Таблиця 2

Інтенсивності переходів системи з одного стану в інший

Інтенсивність потоку КР (λ), КР/хв.	Інтенсивності переходів, 1/хв.			
	$\lambda_{1,2}$	$\lambda_{2,3}$	$\lambda_{1,5}$	$\lambda_{2,6}$
1	0,040	0,041	0,047	0,047
2	0,082	0,084	0,095	0,098
4	0,168	0,219	0,196	0,255
6	0,297	0,436	0,347	0,509

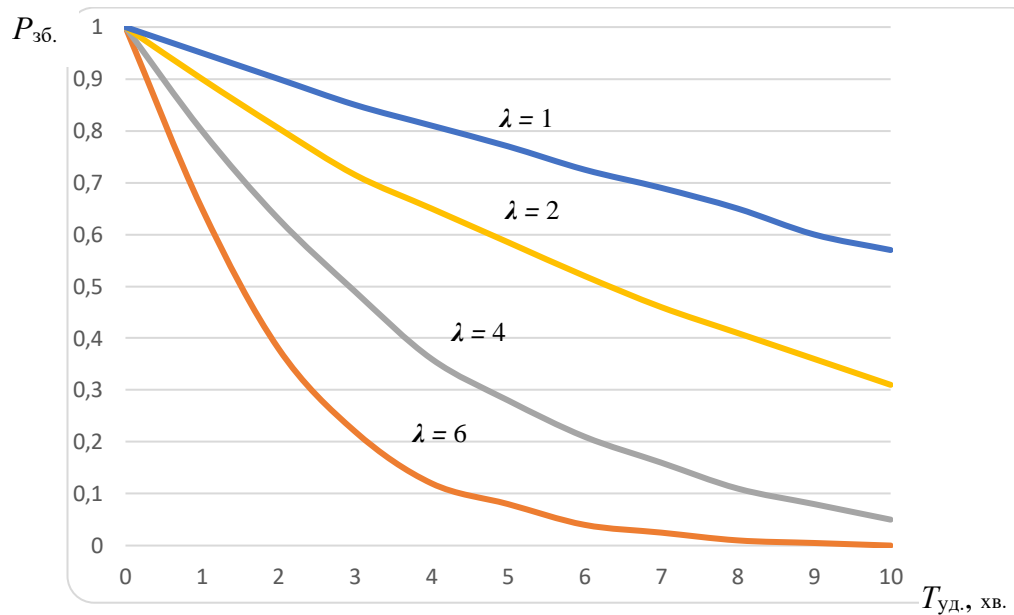


Рисунок 4. Залежності ймовірностей збереження об'єкта від тривалості удару КР різної інтенсивності

Отримані залежності рис. 4 дають змогу за прогнозованими параметрами удару КР (інтенсивність λ і тривалість удару КР $T_{\text{уд.}}$) визначити ймовірність збереження об'єкта. При $P_{\text{зб}}$ нижче заданої ймовірності $P_{\text{зад.}}$ необхідно додатково залучати для прикриття об'єкту ЗРК.

За визначеними значеннями ймовірності збереження об'єкта можна визначати тривалість та інтенсивність удару КР, який може бути успішно відбитий засобами ППО. З наведених на рис. 4 залежностей для $P_{\text{зб}} = 0,7$ при інтенсивності КР $\lambda = 1$ кр/хв така тривалість удару становить $T_{\text{уд}} = 6,9$ хв, при $\lambda = 2$ кр/хв – $T_{\text{уд}} = 3,4$ хв, при $\lambda = 4$ кр/хв – $T_{\text{уд}} = 1,6$ хв, при $\lambda = 6$ кр/хв – $T_{\text{уд}} = 0,8$ хв. При цьому математичне сподівання відносної кількості КР, що може потенційно уражатися засобами ППО, розраховане за формулою (11), становить 0,69 – 0,75.

Обговорення

Збільшення тривалості удару КР приводить до збільшення кількості КР в ударі і, як наслідок, до

зниження ймовірності збереження об'єкта.

Розроблена аналітична методика може бути використана органами військового управління при організації прикриття об'єктів засобами ППО від ударів КР, що визначає її практичну спрямованість.

Висновки

Розроблено аналітичну модель оцінювання ефективності прикриття об'єкта засобами ППО від удару крилатих ракет. У методиці ефективність прикриття об'єкта від удару КР оцінюється ймовірністю його збереження, визначення якої пропонується здійснювати на основі моделі, що описується системою диференціальних рівнянь ймовірностей станів системи у складі об'єкта і ЗРК. За результатами розв'язання системи диференціальних рівнянь отримані вирази для розрахунку залежності ймовірності збереження об'єкта від тривалості удару КР. Порядок застосування розроблених методичних положень показаний на прикладі оцінювання ефективності прикриття об'єкта від удару крилатих ракет трьома трьохканальними зрдн.

Список використаних джерел

1. *Countering Air and Missile Threats*. [on line]. Joint Publication (JP) 3-01. May 2018. 169 p. [cited 2018-10-16]. Available from: https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/jp3_01_pa.pdf?ver=2018-05-16-175020-290. (Дата звернення 27.02.2023).
2. Field Manual No. FM 3-01.7. *Air Defense Artillery Brigade Operations* [on line]. Washington: Headquarters Department of the Army, 2000. 248 p. [cited 2018-11-21]. Available from: <https://www.bits.de/NRANEU/others/amd-us-archive/fm3-01.7%2800%29.pdf>. (Дата звернення 27.02.2023).
3. DELANEY, W.P. *Perspectives on Defense Systems Analysis*. Cambridge: The Massachusetts Institute of Technology Press, 2015. 288 p. ISBN 978-0-262-02935-3. (Дата звернення 27.02.2023).
4. Городнов В.П. Моделювання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними: моногр. / В.П. Городнов, Г.А. Дробаха, М.О. Єрмошин, Є.Б. Смирнов, В.І. Ткаченко; Х.: ХВУ, 2004. –409 с. ISBN 966-601-071-2. (Дата звернення 27.02.2023).
5. Теорія і практика боротьби з малорозмірними низьколітніми цілями (оцінка можливостей, тенденцій розвитку засобів протиповітряної оборони): монографія / І.С. Романченко, О.М. Загорка, С.Г. Бутенко, О.В. Дейнега. – Житомир: “Полісся”, 2011. – 344 с. ISBN 978-966-655-594-9.
6. Теоретичні основи побудови та застосування розвідувально-управляючих інформаційних систем протиповітряної оборони: монографія / С.П. Ярош; за заг. ред. І.О. Кириченка. – Х.: ХУПС, 2012. – 512 с. ISBN 978-966-468-066-7.
7. ZAHORKA, O., ZAHORKA, I., POLISHCHUK, S. *Justification of the Optimal Composition of the Air Defense Troops Grouping*. *Advances in Military Technology*, 2020, 15(1), pp. 55–65 DOI: 10.3849/aimt.01303. (Дата звернення 27.02.2023).
8. Field Manual No. FM. 44-85. *Patriot Battalion and battery operation* [online]. Washington: Headquarters Department of the Army, DC, 21 February 1997. 228 p. Available from: <https://www.globalsecurity.org/space/library/policy/army/fm/44-85/index.html>. (Дата звернення 27.02.2023).
9. Теорія і техніка протидії безпілотним засобам повітряного нападу: монографія. Кн. 1: безпілотні засоби повітряного нападу. Застосування та перспективи розвитку. Виявлення малопомітних засобів повітряного нападу / Ю.Г. Данник, Г.А. Дробаха, В.І. Карпенко, Є.Б. Смирнов, В.І. Ткаченко / . – Х.:ХВУ, 2002. – 164 с.
10. DENNIS M. GORMLEY. *Addressing the Cruise Missile Threat: Defense and Diplomatic Responses* [online]. Paris: French Institute of International Relations, Proliferation Papers, No. 6, Spring 2002. 22 p. Available from: <https://www.ifri.org/en/publications/etudes-de-lifri/proliferation-papers/addressing-cruise-missile-threat-defense-and>. (Дата звернення 27.02.2023).
11. Основи управління та прийняття рішень у військовій справі: підруч. /М.І. Нещадим, В.О. Колеснік, В.О. Мазуренко, В.І. Супрун/. Суми: Слобожанщина, 2000. – 276 с.
12. Венгцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 208 с.
13. HILLIER, F.S. and LIEBERMAN, G.J. *Introduction to Operations Research*. New York: McGraw-Hill, 2010. 1073 p. ISBN 978-0-07-337629-5.
14. Розвідувально-ударні, розвідувально-вогневі комплекси (принципи побудови в умовах реалізації концепції мережецентричних війн, оцінка ефективності бойового застосування): монографія / за заг. Ред. В.М. Телелима/ В.М. Тарасов, Р.І. Тимошенко, О.М. Загорка. – К.: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2015. – 184 с.

APPLICATION OF THE PRINCIPLES OF THE THEORY OF MARKOV RANDOM PROCESSES TO ASSESS THE EFFECTIVENESS OF PROTECTION OF OBJECTS FROM CRUISE MISSILES STRIKES

Oleksii Zahorka (Doctor of Military Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-1131-0904>

Serhii Polishchuk (Candidate of Military Sciences)

<https://orcid.org/0000-0001-9050-6918>

Iryna Zahorka

<https://orcid.org/0000-0002-0693-1434>

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Air and sea-based cruise missiles play a significant role in the destruction of the most important objects in military conflicts. Cruise missiles are difficult targets for Air Defense. This is due to the peculiarities of their application and low radar and thermal visibility. When organizing the air defense of objects, it is necessary to assess the effectiveness of their protection from cruise missile strikes. The efficiency indicator is the probability of preservation of objects from cruise missile strikes. It is determined using the principles of the Markov random processes theory. The system states graph (object of defeat, air defense means) is constructed in accordance with the process of the repelling of the cruise missiles strike, the system's transitions intensities from state to state are determined and the differential equations system is made. After solving this system of differential equations, we obtained expressions to determine the probability of preservation of the object depending on the duration of the cruise missiles strike.

Keywords: *object of defeat, cruise missiles, Air Defense, probability of preservation of object, random Markov processes.*

References

1. Joint Publication (JP) 3-01. Countering Air and Missile Threats [on line]. Washington, D.C.: The USA Armed Forces, Joint Chiefs of Staff, 2017. Available from: https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/jp3_01.pdf.
2. Danyk Y.G., Drobakha H.A., Karpenko V.I., Smirnov E.B., and Tkachenko V.I. Theory and Technique of Counteracting Unmanned Aerial Vehicles: Monograph. Book 1: Unmanned Aerial Vehicles. Application and Development Prospects. Detection of Inconspicuous Means of Air Attack. Kharkiv: KhVU, 2002. 164 p.
3. Delaney W.P. Perspectives on Defense Systems Analysis. Cambridge: The Massachusetts Institute of Technology Press, 2015. 288 p. ISBN 978-0-262-02935-3.
4. Dennis M. Gormley. Addressing the Cruise Missile Threat: Defense and Diplomatic Responses [online]. Paris: French Institute of International Relations, Proliferation Papers, No. 6, Spring 2002. 22 p. Available from: <https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/Gormley.pdf>
5. Field Manual No. FM 3-01.7. U.S. Army Air and Missile Defense Operations [on line]. Washington, D.C.: Headquarters Department of the Army, 2020. Available from: https://armypubs.army.mil/epubs/DR_pubs/DR_a/ARN31339-FM_3-01-000-WEB-1.pdf
6. Field Manual No. FM. 44-85. Patriot Battalion and Battery Operation [online]. Washington, D.C.: Headquarters Department of the Army, 2002. Available from: [https://www.bits.de/NRANEU/others/amd-us-archive/fm3-01.85\(02\).pdf](https://www.bits.de/NRANEU/others/amd-us-archive/fm3-01.85(02).pdf).
7. Hillier F.S. and Lieberman G.J. Introduction to Operations Research. New York: McGraw-Hill, 2010. 1073 p. ISBN 978-0-07-337629-5.
8. Horodonov V.P., Drobakha H.A., Yermoshyn M.O., Smyrnov Y.B. and Tkachenko V.I. Modeling of Combat Operations of Troops (Forces) of Air Defense and Information Support of the Processes of Their Management. Kharkiv: KhVU, 2004. 409 p. ISBN 966-601-071-2.
9. Neshchadym M.I., Kolesnikov V.O., Mazurenko V.O. and Suprun V.I. Fundamentals of Management and Decision-Making in Military Affairs: textbook. Sumy: Slobozhanshchyna, 2000. 376 p.
10. Theory and Practice of Combating Small-Size Low-level Targets (Assessment of Opportunities, Trends in the Development of Air Defense): monograph. Zhytomyr: Polissya, 2011. 342 p. ISBN 978-966-655-594-9.
11. Telelim V.M., Tarasov V.M., Tymoshenko R.I., Zahorka O.M. Reconnaissance and Strike, Reconnaissance and Fire Complexes (Principles of Construction in Terms of Implementing the Concept of Network-Centric Wars, Evaluation of the Effectiveness of Combat Use): monograph. Kyiv: NUOU named after Ivan Chernyakhovskiy, 2015. 184 p.
12. Wentzel E.S. Operations Research: A Methodological Approach [online]. Moscow: Mir Publishers, 1983. 264 p. Available from: <https://archive.org/details/WentzelOperationsResearchMir1983/mode/2up>.
13. Yarosh S.P. Theoretical Bases of Construction and Application of Reconnaissance and Control Information Systems of Air Defense: Monograph, Kharkiv: KhVU, 2012. - 512 p. ISBN 978-966-486-066-7.
14. Zahorka O., ZAHORKA I., POLISHCHUK S. Justification of the Optimal Composition of the Air Defense Troops Grouping. Advances in Military Technology, 2020, 15(1), pp. 55–65 DOI: 10.3849/aimt.01303.