

*Мегельбей В.В.* Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

*Кравченко С.О.* Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського

*Іценко Д.С.* Воєнно-наукове управління Генерального штабу Збройних Сил України

*Олійник Р.М., Цілина С.В.* Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки

## **МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЖИВУЧОСТІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВОГНЕМ ЗЕНІТНОГО ПІДРОЗДІЛУ (ЧАСТИНИ)**

*У статті акцентовано увагу на вирішенні завдання оцінювання живучості системи управління вогнем. Показано шляхи рішення цього завдання за рахунок використання певних методик, за допомогою яких можливо провести аналіз чинників, що впливають на живучість системи управління вогнем. Запропонована методика оцінювання живучості системи управління вогнем враховує динаміку її функціонування, вплив можливих заходів щодо підвищення живучості на її рівень, враховує різні варіанти нанесення ударів противником та дає можливість провести порівняльний аналіз пропозицій щодо забезпечення необхідного рівня живучості системи в штабах (органах військового управління) в ході планування та ведення бойових дій.*

**Ключові слова:** *живучість, методика оцінювання, система управління вогнем, система протиповітряної оборони.*

### **Постановка проблеми**

Управління вогнем має на меті повне використання можливостей створеної системи вогню зенітного підрозділу (частини), кінцевим завданням якої є знищення повітряних цілей. Однією з основних умов успішного виконання поставлених завдань, в ході ведення бойових дій, є забезпечення живучості системи управління вогнем.

Оцінювання живучості системи управління вогнем є актуальним науково-практичним завданням при плануванні та розгортанні системи протиповітряної оборони в різних ланках управління. Зі складністю вирішення цього завдання зіштовхнуться посадові особи штабів (органів військового управління), як під час планування бойових дій (операції) так і в ході функціонування розгорнутої системи управління вогнем під впливом зовнішніх факторів.

З метою розробки обґрунтованих пропозицій та порівняння прийнятих рішень щодо підвищення живучості системи управління вогнем необхідна модель, яка б характеризувала живучість системи впродовж певного відрізка часу. Ця модель є основою для розробки методики оцінювання живучості. Час, за який оцінюється живучість системи доцільно обирати в межах  $0 \leq t \leq t_{cp}$ , де  $t_{cp}$  – середній час перебування елементів системи управління вогнем на позиціях.

Отже, метою статті є розробка методики оцінювання живучості системи управління вогнем в ході ведення бойових дій.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Аналіз останніх публікацій щодо проблеми живучості свідчить, що дослідження цього напрямку не припиняються.

У роботах [1-3] основна увага приділяється визначенню можливостей противника щодо викриття систем озброєння засобами розвідки і безпосереднього їх вогневого ураження, при цьому в запропонованих методиках недостатньо враховується вплив чинників щодо підвищення живучості на її рівень та фактор часу.

Ряд робіт [4-6] присвячені розробці методик оцінювання живучості засобів протиповітряної оборони (ППО), з урахуванням часу ведення бойових дій, спираючись на метод моделювання за схемою марковських випадкових процесів. Даний підхід може дати досить точні оцінки живучості в ході наукових досліджень, але, разом з тим, його використання в штабах (органах військового управління) під час підготовки і ведення бойових дій (операцій) викликає значні труднощі у відповідних посадових осіб.

У роботі [7] запропонована досить проста методика для оцінювання живучості засобів ППО в ході ведення бойових дій, в якій враховуються можливості щодо її підвищення. Основна увага приділяється оцінюванню живучості засобів ППО, тому в даній методиці необхідні уточнення деяких положень щодо визначення імовірності ураження елементів системи управління вогнем.

### **Виклад основного матеріалу**

При аналізі чинників, які впливають на живучість системи управління та розробку обґрунтованих пропозицій щодо її підвищення, будемо спиратися на методику оцінювання живучості сил і засобів ППО, запропоновану в роботі [7]. Як відомо [8], живучість характеризується можливостями системи управління зберігати або швидко відновлювати свою боєздатність в умовах застосування противником різних засобів ураження. В якості показника ступеню збереження боєздатності системи управління можливо використовувати імовірність не ураження елементів системи управління вогнем противника за час  $t$  [7]:

$$P(t) = (1 - P_u)^{\frac{t}{t_{ц}}} \quad (1)$$

де  $t_{ц}$  – тривалість циклу “розвідка-ураження” засобу вогневого ураження противника;

$P_u$  – імовірність ураження елементів системи управління за час  $t_u$ .

З метою визначення величин  $t_u$  та  $P_u$  розглянемо основні можливі моделі удару противником на елементах пункту управління.

Перша модель – удар наноситься авіацією. У цьому випадку, за час циклу “розвідка-ураження”  $t_{u1}$ , противник має провести розвідку цілей, підготовку і передачу даних про виявлені цілі (цілевказівка), прийняти рішення про застосування авіації, здійснити політ авіації в район цілі, здійснити безпосереднє виявлення визначених цілей і нанести удар. У такому випадку час  $t_u$  можна представити у вигляді суми відповідних проміжків часу:

$$t_{u1} = t_p + t_{цв} + t_n + t_y \quad (2)$$

де  $t_p$  – час, необхідний для виявлення цілей (елементів системи управління) з заданою імовірністю для нанесення удару;

$t_{цв}$  – час на підготовку та передачу цілевказівки;

$t_n$  – час підготовки та польоту авіації в район виявлених цілей;

$t_y$  – час безпосереднього пошуку (допошуку) цілей у заданому районі і нанесення ударів по них.

Друга модель – удар наноситься розвідувально-ударним (розвідувально-вогневим) комплексом (РУК (РВК)), артилерійським вогнем. У такому випадку, за час  $t_p$  здійснюється розвідка цілей, як правило, за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА), за час  $t_{цв}$  передача даних цілевказівки, за час  $t_{нід}$  здійснюється підготовка даних для ведення вогню (пуску ракет) та за час  $t_y$  здійснюється нанесення удару (політ ракет або снарядів до цілей). Отже, тривалість циклу “розвідка-ураження” для другої моделі складає:

$$t_{u2} = t_p + t_{цв} + t_{нід} + t_y \quad (3)$$

Аналіз складових циклу “розвідка-ураження” першої і другої моделей удару

противника показує, що за інших рівних умов час підготовки і польоту авіації в район виявлених цілей ( $t_n$ ) та час нанесення удару по цілям ( $t_y$ ) для першої моделі перевищують відповідні часові інтервали ( $t_{nid}$  і  $t_y$ ) другої моделі. Відповідно, можна вважати, що  $t_{y1} \gg t_{y2}$ .

Зважаючи на те, що пункти управління розгортаються, як правило, в районах, які знаходяться в межах досяжності РУК (РВК) противника, доцільно вважати, що друга модель нанесення удару по елементам системи управління вогнем буде пріоритетною під час прийняття рішення противником на вогневе ураження.

Розглянемо імовірність ураження елементів системи управління за час  $t_y$ . Для прийнятих моделей значення  $P_y$  може бути визначене як добуток імовірностей [7]:

$$P_y = \begin{cases} P_e P_m P_{PCB} P_{yp}, & \text{для першої моделі;} \\ P_e P_m P_{yp}, & \text{для другої моделі,} \end{cases} \quad (4)$$

де  $P_e$  – імовірність виявлення елементів системи управління ЗРП противником за цикл пошуку (при первинному пошуку);

$P_m$  – імовірність невиходу (не здійснення маневру) елементів системи управління з-під удару противника;

$P_{PCB}$  – імовірність виявлення цілі авіацією противника в заданому районі при безпосередньому пошуку (допошуку), (імовірність реалізації цілевказівки);

$P_{yp}$  – імовірність ураження елементів системи управління засобами противника.

Для оцінки величин  $P_e$  і  $P_{PCB}$  скористаємося виразом [7]:

$$P = \frac{(1 - K_m) W}{1 - \xi \eta}, \quad (5)$$

де  $K_m$  – ступінь маскуванню елементів системи управління від різних видів розвідки противника;

$W$  – імовірність виявлення елементів системи управління противником за цикл розвідки;

$\eta$  – кількість хибних позицій елементів системи управління, що припадають на одну реальну;

$\xi$  – ступінь правдоподібності хибних позицій.

Значення імовірності невиходу (не здійснення маневру) елементів системи управління з-під удару противника може бути визначене за формулами [7]:

$$P_m = \begin{cases} 1 - \frac{t}{t_{cp}}, & \text{якщо } t < t_p + t_3; \\ \frac{t - t_p - t_3}{t_{cp}} e^{\frac{t - t_p - t_3}{t_{cp} - t_p - t_3}}, & \text{якщо } t \geq t_p + t_3, \end{cases} \quad (6)$$

де  $t$  – час від моменту виявлення елементів системи управління до нанесення по них удару;

$t_{cp}$  – середній час перебування елементів системи управління на позиціях;

$t_p$  – час розгортання елемента системи управління;

$t_3$  – час згортання елемента системи управління.

Імовірність ураження елементів системи управління засобами противника, в загальному випадку, визначається залежністю [9]:

$$P_{yp}(n) = \sum_{m=0}^n R_{n,m} G(m), \quad (7)$$

де  $R_{n,m}$  – імовірність влучання в ціль рівно  $m$  пострілами (пусками) при  $n$  пострілах;

$G(m)$  – закон ураження цілі.

На озброєнні пунктів управління зенітних підрозділів (військових частин), в основному, знаходяться не броньовані зразки техніки. Це, як правило, вантажні автомобілі з кунгами, які мають дюралюмінієву обшивку, що легко пробивається осколками та кулями. Зважаючи на це, будемо рахувати, що всі авіаційні засоби ураження, засоби ураження реактивної та ствольної артилерії по відношенню до елементів системи управління вогнем мають надлишкову потужність руйнівної дії і для ураження елемента системи управління достатньо  $k$  влучань засобів ураження. У такому випадку, закон ураження цілі може бути представлений у вигляді ступінчатого закону ураження [9]:

$$G(m) = \begin{cases} 0, & \text{при } m = 0; \\ 1, & \text{при } m \geq k. \end{cases} \quad (8)$$

Для ступінчатого закону ураження імовірність ураження цілі дорівнюватиме імовірності не менше  $k$  влучань в ціль:

$$P_{yp}(n) = R_{n,k}. \quad (9)$$

Коли постріли незалежні один від одного, значення  $R_{n,k}$  можна обчислити за формулою [9]:

$$R_{n,k} = P(m \geq k) = \sum_{m=k}^n C_n^m p^m (1-p)^{n-m}, \quad (10)$$

де  $p$  – імовірність влучання в ціль при одному пострілі.

Для першої моделі, як правило, характерне прицілювання по конкретному об'єкту елемента системи управління (наприклад, радіолокаційній станції). У такому випадку, для приблизних розрахунків можна прийняти імовірність влучання в ціль як імовірність влучання в коло з радіусом  $r$  і центром розсіювання, що співпадає з центром кола [3, 7]:

$$p = 1 - e^{-\frac{r^2(1-K_{инж})}{2\sigma^2}}, \quad (11)$$

де  $r$  – радіус кола, в яке необхідно влучити, як правило, дорівнює радіусу ураження боєприпасу;

$K_{инж}$  – коефіцієнт, що враховує інженерне обладнання позицій;

$\sigma$  – середньоквадратичне відхилення боєприпасу.

Друга модель, як правило, передбачає ураження певної площі. При рівномірному розподілі влучань по площі елемента системи управління імовірність його ураження може бути приблизно оцінена за виразом [3, 7]:

$$P_{yp}(n) \approx 1 - e^{-n\mu}, \quad (12)$$

де  $\mu$  – математичне очікування долі ураженої площі цілі при одному пострілі, яка обчислюється за формулою:

$$\mu = \frac{\bar{S}_{yp}}{S_u}, \quad (13)$$

де  $\bar{S}_{yp}$  – математичне очікування ураженої площі цілі при одному влучанні;

$S_u$  – площа цілі.

При обчисленні математичного очікування ураженої площі елемента системи управління при одному влучанні будемо вважати, що площа цього елемента (або його складова частина) апроксимується рівновеликим прямокутником зі сторонами  $Ц_x$  і  $Ц_y$ . Зона ураження при влучанні замінюється рівновеликим прямокутником із сторонами  $L_x$  і  $L_y$ .

Напрямки координатних осей вибираються паралельно головним осям еліпса розсіювання точок влучання [3].

Як правило, зона ураження одного пострілу апроксимується колом з радіусом  $r$ . У такому випадку  $L_x = L_y = r\sqrt{\pi} = 1,772r$ .

За таких допущень математичне очікування ураженої площі елемента системи управління при одному пострілі знаходиться за формулою [3]:

$$\begin{aligned} \bar{S}_{yp} = & \frac{E_x E_y}{4} \left[ \hat{\phi} \left( \frac{x_2 + \bar{x}}{E_x} \right) + \hat{\phi} \left( \frac{x_2 - \bar{x}}{E_x} \right) - \hat{\phi} \left( \frac{x_1 + \bar{x}}{E_x} \right) - \hat{\phi} \left( \frac{x_1 - \bar{x}}{E_x} \right) \right] \times \\ & \times \left[ \hat{\phi} \left( \frac{y_2 + \bar{y}}{E_y} \right) + \hat{\phi} \left( \frac{y_2 - \bar{y}}{E_y} \right) - \hat{\phi} \left( \frac{y_1 + \bar{y}}{E_y} \right) - \hat{\phi} \left( \frac{y_1 - \bar{y}}{E_y} \right) \right], \end{aligned} \quad (14)$$

де  $E_x, E_y$  – серединні відхилення точок влучання боєприпасу;

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{\Pi_x - L_x}{2}; & x_2 &= \frac{\Pi_x + L_x}{2}; \\ y_1 &= \frac{\Pi_y - L_y}{2}; & y_2 &= \frac{\Pi_y + L_y}{2}; \end{aligned}$$

$\bar{x}, \bar{y}$  – координати точок прицілювання;

$\hat{\phi}(z)$  – інтеграл від приведеної функції Лапласа  $\hat{\Phi}(z)$ .

Таким чином, всі необхідні величини, які необхідні для визначення імовірності не ураження елементів системи управління вогнем противника за час  $t$  знайдені.

### **Висновки**

Отже, запропонована модель оцінки живучості системи управління вогнем враховує чинники, які впливають на рівень її живучості, визначає залежність рівня живучості від часу та враховує особливості обчислення імовірностей ураження елементів системи управління вогнем для запропонованих моделей ударів.

Аналіз чинників, що впливають на живучість системи управління вогнем показує, що, зважаючи на розгортання елементів системи управління у районах, які досяжні для вогню артилерії і ударів ракетами, при нанесенні вогневого ураження противником пріоритет буде надаватися саме цим засобам ураження.

При розробці пропозицій щодо підвищення живучості системи управління вогнем зенітного підрозділу (частини) слід зосереджувати увагу на впровадженні організаційно-технічних заходів спрямованих на:

збільшення часу і зменшення імовірності виявлення противником елементів системи управління вогнем;

збільшення часу безпосереднього пошуку цілей для нанесення удару авіацією противника в районах розгортання пунктів управління;

зменшення імовірності ураження елементів системи управління в результаті нанесення ударів противником.

Наведена методика дозволяє аналітичним способом провести оцінювання живучості системи управління вогнем не вдаючись до складних розрахунків.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мильграм Ю.Г. Боевая эффективность авиационной техники и исследование операций / Ю.Г. Мильграм, И.С. Попов. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1970. – 500 с.
2. Червоный А.А. Вероятностные методы оценки эффективности вооружения / А.А. Червоный, В.А. Шварц, А.П. Козловцев, В.А. Чобанян; под ред. проф. А.А. Червоного. – М.: Воениздат, 1979. – 95 с.
3. Абчук В.А. Справочник по исследованию операций / В.А. Абчук, Ф.А. Матвейчук, Л.П. Томашевский; под общ. ред. Ф.А. Матвейчука. – М.: Воениздат, 1979. – 368 с
4. Загорка О.М. Методичні положення оцінки живучості зенітної ракетної системи від дії по її елементах засобів ураження противника [Текст] / О.М. Загорка, В.В. Коваль, І.О. Загорка // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2017. – № 4. – С. 12-16.
5. Гогоняц С.Ю. Основні положення удосконаленої методики оцінки живучості угруповання зенітних ракетних військ при виконанні завдань зенітного ракетного прикриття / С.Ю. Гогоняц, Г.С. Степанов // Системи озброєння і військова техніка. – 2012. – № 2. – С. 37-41.
6. Титаренко О.Б. Окремі положення удосконаленої методики оцінки живучості угруповання зенітних ракетних військ при відбитті удару засобів повітряного нападу противника [Текст] / О.Б. Титаренко, С.Ю. Гогоняц // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 1. – С. 45-48.
7. Оленович И. Ф. Система противовоздушной обороны Сухопутных войск и оценка ее эффективности / И.Ф. Оленович, В.Д. Кохно, О.В. Зайцев. – Киев: ВА ПВО СВ, 1988. – 117 с.
8. Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Торопчин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник, Р.Е. Пащенко та ін. – К.: МО України, Х: ХВУ, 2003. – 368 с.
9. Вентцель Е.С. Введение в исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Советское радио, 1964. – 389 с.

### **Мегельбей Вячеслав Вікторович,**

кандидат технічних наук

начальник науково-дослідної лабораторії Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків, Україна

<https://orcid.org/0000-0001-7785-765X>

e-mail: [ladmegel@gmail.com](mailto:ladmegel@gmail.com)

### **Кравченко Сергій Опанасович**

кандидат військових наук, доцент, доцент кафедри Сухопутних військ Командно-штабного інституту застосування військ (сил) Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0001-8188-3113>

e-mail: [serg.kravchenko.49@gmail.com](mailto:serg.kravchenko.49@gmail.com)

### **Viacheslav Mehelbei**

Candidate of Technical Sciences

Research Laboratory Head of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-7785-765X>

e-mail: [ladmegel@gmail.com](mailto:ladmegel@gmail.com)

### **Sergiy Kravchenko**

Candidate of Military Sciences, Associate professor, Associate Professor of Land Forces Department The Command-and-Staff Institute of the Troops (Forces) Combat Use The National Defense University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiyi, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-8188-3113>

e-mail: [serg.kravchenko.49@gmail.com](mailto:serg.kravchenko.49@gmail.com)

**Иценко Дмитро Сергійович**

старший офіцер науково-організаційного відділу планування наукової роботи та розробки нормативних документів Воєнно-наукового управління Генерального штабу Збройних Сил України, Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-3545-215X>  
e-mail: dima310784@ukr.net

**Олійник Руслан Михайлович**

начальник науково-дослідного відділу Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-3969-544X>  
e-mail: o.ruslan77@gmail.com

**Цілина Сергій Васильович**

начальник науково-дослідної лабораторії Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-1936-7166>  
e-mail: csv1@ukr.net

**Dmitry Itsenko**

The Senior Officer Of The Scientific And Organizational Department Of Scientific Work Planning And Normative Documents Development of Military Scientific Directorate of General Staff of Armed Force of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-3545-215X>  
e-mail: dima310784@ukr.net

**Ruslan Oliynik**

Chief of Section of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-3969-544X>  
e-mail: o.ruslan77@gmail.com

**Sergii Tsilyna**

Chief of Laboratory of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-1936-7166>  
e-mail: csv1@ukr.net

**METHODOLOGY OF ASSESSMENT OF FIRE CONTROL SYSTEM SURVIVABILITY OF  
ANTI-AIRCRAFT SUB-UNIT (ANTI-AIRCRAFT UNIT)**

**V. Mehelbei, S. Kravchenko, D. Itsenko, R. Oliynik, S. Tsilyna**

*The article focuses on solving the problem of assessing the survivability of a fire control system of an anti-aircraft sub-unit (anti-aircraft unit). The ways of solving this problem are shown by the use of certain methods, by which it is possible to carry out the analysis of the factors that influence the survivability of the fire control system of an anti-aircraft sub-unit (anti-aircraft unit). Assessment of the survivability of the control system is carried out on the basis of a model that characterizes the survivability of the system for a certain period of time. It is advisable to choose the time for which the survivability of the system is estimated within the average time spent by the elements of the fire control system of the anti-aircraft unit (unit) at their positions. As an indicator of survivability, the probability of non-defeat of elements of the enemy fire control system over the adopted time period is accepted. The adopted indicator is characterized by a number of particular indicators: the probability of detection (the probability of direct detection by enemy aircraft in a given area) of the control system elements; the probability of absenteeism of control elements from under the attack of the enemy; the probability of defeat of the elements of the enemy assets management system. In turn, private indicators take into account the enemy's ability to detect and strike at elements of the fire control system of an anti-aircraft sub-unit (anti-aircraft unit), as well as the possible impact of organizational and technical measures aimed at improving camouflage, creating false positions, and engineering support to reduce the likelihood of detection and defeat of elements of a fire control system of an anti-aircraft sub-unit (anti-aircraft unit). The proposed methodology for assessing the survivability of a fire control system takes into account the dynamics of its operation, the impact of possible measures to increase survivability at its level, takes into account different options for striking the enemy and allows a comparative analysis of proposals to ensure the required level of survivability of the system in the headquarters (military authorities) planning and conducting combat operations.*

**Keywords:** survivability, evaluation technique, fire control system, air defense system.