Литовченко Д.М. Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Куценко В.В. Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння і військової техніки

ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СТРІЛЬБИ ЗГРК “ТУНГУСКА” ПРИ СТРІЛЬБІ ПО НЕТИПОВИМ ЦІЛЯМ РАКЕТНИМ ТА АРТИЛЕРІЙСЬКИМ ОЗБРОЄННЯМ

У роботі визначені ймовірності ураження цілі при n пострілах та стрільбі одним снарядом, що є показником ефективності стрільби зенітними автоматами зенітного гарматно-ракетного комплексу. Для цього було розраховано ймовірності влучення у ціль при одному пострілі, яка залежить від величин систематичних складових та середньоквадратичного відхилення похибок, а також проекції площі цілі у картинній площині стрільби. Також були визначені ймовірності ураження типової цілі в залежності від кількості снарядів, які влучили у неї. Проведено оцінку ефективності стрільби при зосередженні вогню взводу зенітних гарматно-ракетних комплексів по одній цілі. Визначено ймовірність ураження цілі однією ракетою в залежності від часткового значення її промаху.

Ключові слова: дальня межа зони ураження, ефективна поверхня розсіювання, типова ціль, безпілотний літальний апарат, ймовірностей ураження цілі, неконтактний датчик цілі, круговий закон ураження, зона ураження, дальність виявлення цілі.

Постановка проблеми. В сучасних умовах бойового застосування зенітного гарматно-ракетного комплексу (ЗГРК) “Тунгуска” використовується як для обстрілу малорозмірних цілей типу безпілотний літальний апарат (БпЛА), так і для обстрілу типових для ЗГРК цілей, тому постає проблема визначення значення ймовірностей ураження цілі при n пострілах і стрільбі одним снарядом, оцінці ефективності стрільби при зосередженні вогню взводу ЗГРК по одній цілі та визначенні параметрів закону помилок наведення ракети та системи підриву бойової частини (БЧ) ракети, а також величини умовних ймовірностей ураження цілі однією ракетою залежно від часткового значення її промаху. При проведенні розрахунків величини похилої дальності до дальньої межі зони ураження ЗГРК у різних умовах застосування слід враховувати фактори, що знижують вказані дальності.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Дані наведені в роботах [1–9] не дають можливості визначати показники ефективності стрільби по нетиповим цілям ракетним та артилерійським озброєнням. У вказаній літературі приведені загальні підходи до рішення даної задачі.

Метою статті є розробка часткової моделі розрахунку значень умовних ймовірностей ураження нетипових цілей (малорозмірних цілей типу БпЛА), для формування різних варіантів відбиття удару повітряного противника (тільки артилерійським каналом або тільки ракетним каналом чи комбінованим – спочатку ракетним, а потім артилерійським) в залежності від завадової обстановки (завади по каналу неконтактного датчику цілі (НДЦ) ракети, завади щільності по радіолокаційній станції супроводження цілі (ССЦ) ЗСУ), а також обґрунтування загальних напрямків доопрацювання елементів системи озброєння.

Виклад основного матеріалу. У якості нетипової цілі для проведення розрахунків було обрано БпЛА типу “Форпост” [10]. Для оцінки ефективності стрільби застосовано приблизні найбільші S_{max} та найменші S_{min} площі БпЛА та типової цілі (ТЦ) у картинній площині стрільби. Було визначено, що для БпЛА $S_{max\Phi} = 6,7 \text{ м}^2$, $S_{min\Phi} = 0,58 \text{ м}^2$, найменші значення S_{min} маємо при стрільбі на малих висотах (кут місця $\varepsilon \leq 5^\circ$), а найбільше значення S_{max} при $\varepsilon > 45^\circ$. Усереднене значення швидкості польоту БпЛА v було визначено як

40 м/с. Для типової цілі (ТЦ) було визначено: $S_{max\,TЦ} = 30,2\,м^2$, $S_{min\,TЦ} = 9,1\,м^2$ та $V = 230\,м/с$.

При числовому моделюванні площа цілі S у картинній площині стрільби знаходиться в інтервалі від $10^{-2}\,м^2$ до $10^2\,м^2$. Систематичні складові r_i похибок стрільби снарядами за вісями y, z (декартової системи координат) у картинній площині дорівнюють $r_y \approx r_z \approx (20 \dots 60)\,м$ та відповідно їм СКВ помилок становлять $\sigma_y \approx \sigma_z \approx (25 \dots 50)\,м$ [3, 6]. Кількість пострілів по цілях n дорівнює 160.

Розрахунок значень імовірності влучення в ціль при одному пострілі $P_1(S; \sigma_y; \sigma_z; r_y; r_z)$ та ймовірності ураження цілі $G(\omega)$ при влученні у неї ω снарядів проводимо відповідно до виразу (1):

$$P_1(S; \sigma_y; \sigma_z; r_y; r_z) = \frac{S}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left\{-0,5\left[\left(\frac{r_y}{\sigma_y}\right)^2 + \left(\frac{r_z}{\sigma_z}\right)^2\right]\right\}, \quad G(\omega) = I/\omega. \quad (1)$$

Для усереднених умов стрільби ЗГРК по ТЦ і по БпЛА типу “Форпост” для їх S_{min} було отримані відповідні ймовірності влучення в ціль при одному пострілі: $P_1(9,1; 37; 37; 40; 40) \approx 3,29 \cdot 10^{-4}$ та $P_1(0,58; 37; 37; 40; 40) \approx 2,09 \cdot 10^{-5}$. При стрільбі по тактичному винищувачу ТЦ значення ω знаходиться у межах від 2 до 6, а для середнього бомбардувальника не менше 15 снарядів [4]. При проведенні розрахунків було прийнято середнє значення влучення в ціль снарядів: для ТЦ $\omega \approx 4$, а для БпЛА типу “Форпост” – $\omega \approx 1$. Тоді для ТЦ ймовірність ураження становить $G(4) = 0,25$, а для БпЛА $G(1) = 1$. Розрахунок значень умовних ймовірностей ураження цілі одним снарядом $R_{lc}(S; \sigma_y; \sigma_z; r_y; r_z; \omega)$ та при n пострілах $R_n(S; \sigma_y; \sigma_z; r_y; r_z; \omega)$ проводиться відповідно до виразу (2):

$$R_{lc}(S; \sigma_y; \sigma_z; r_y; r_z; \omega) = P_1(S; \sigma_y; \sigma_z; r_y; r_z; \omega) G(\omega), \quad (2)$$

$$R_n(S; \sigma_y; \sigma_z; r_y; r_z; \omega) = 1 - \left[1 - R_{lc}(S; \sigma_y; \sigma_z; r_y; r_z; \omega)\right]^n.$$

Результати розрахунків умовних ймовірностей ураження цілі $R_n(S; \sigma_y; \sigma_z; r_y; r_z; \omega)$ при стрільбі ЗГРК “Тунгуска” в залежності від площі проекції цілі S відповідно до запропонованої часткової методики наведені на рисунку 1.

Рис.1. Умовні ймовірності ураження цілі $R_n(S; \sigma_y; \sigma_z; r_y; r_z; \omega)$ при стрільбі ЗГРК “Тунгуска” залежно від площі проекції цілі S

При цьому $\sigma_y \approx \sigma_z$ змінюються у межах від 25 м до 50 м, $r_y \approx r_z$ змінюються у межах від 20 м до 60 м [2], кількість пострілів $n=160$. Кількість улучень по ТЦ (1) $\omega \approx 4$, а для БпЛА $\omega \approx 1$. На рисунку 1 наведені результати розрахунку імовірності ураження цілі пострілами R_n . Крива 1 $R_n(S; 50; 50; 60; 60; 4)$ побудована для заданих умов стрільби по ТЦ $\sigma_y \approx \sigma_z \approx 50$ м, $r_y \approx r_z \approx 60$ м та $S_{minTЦ} = 9,1$ м². Крива 2 побудована при тих же умовах, що і попередня, але для БпЛА при $S_{min} = 0,58$ м². Крива 3 (ТЦ) та 4 (БпЛА) розраховані для усереднених умов стрільби $\sigma_y \approx \sigma_z \approx 37$ м та $r_y \approx r_z \approx 40$ м. Значення кривих 5 та 6 отримані з урахуванням якісної бойової підготовки обслуги зенітної самохідної установки (ЗСУ) ЗГРК “Тунгуска” при V режимі роботи ЗСУ, при $\sigma_y \approx \sigma_z \approx 37$ м та $r_y \approx r_z \approx 20$ м. На рисунку 1 за кривими 1, 3 і 5 при мінімальній та максимальній площі ТЦ S_{min}/S_{max} було отримано наступні значення ймовірностей ураження:

– для кривої 1:

$$\text{при } S_{minTЦ} = 9,1 \text{ м}^2 - R_n = 5,5 \cdot 10^{-3}, \text{ при } S_{maxTЦ} = 30,2 \text{ м}^2 - R_n = 0,02;$$

– для кривої 2:

$$\text{при } S_{minTЦ} = 9,1 \text{ м}^2 - R_n = 0,013, \text{ при } S_{maxTЦ} = 30,2 \text{ м}^2 - R_n = 0,04;$$

– для кривої 3:

$$\text{при } S_{minTЦ} = 9,1 \text{ м}^2 - R_n = 0,03, \text{ при } S_{maxTЦ} = 30,2 \text{ м}^2 - R_n = 0,1.$$

При обстрілі великорозмірного БпЛА типу “Форпост” при мінімальній площі S_{min} значення ймовірності ураження отримані за кривими 2, 4 та 6 рисунку 1:

– для кривої 2

$$\text{при } S_{min} = 0,58 \text{ м}^2 - R_n = 1,4 \cdot 10^{-3};$$

– для кривої 4:

$$\text{при } S_{min} = 0,58 \text{ м}^2 - R_n = 3,35 \cdot 10^{-3};$$

– для кривої 6:

$$\text{при } S_{min} = 0,58 \text{ м}^2 - R_n = 8 \cdot 10^{-3}.$$

Розрахунки показали, що зосередження вогню трьох ЗСУ (2) по одній цілі, при стрільбі в режимі полуавтоматичному наведенні (V режим) дає наступні значення ймовірностей ураження взводом $R_{нв}$:

– для ТЦ:

$$\text{при } S_{minTЦ} = 9,1 \text{ м}^2 - R_{нв} = 0,09;$$

$$\text{при } S_{maxTЦ} = 30,2 \text{ м}^2 - R_{нв} = 0,27;$$

– для БпЛА типу “Форпост”:

$$\text{при мінімальній площі } S_{min} = 0,58 \text{ м}^2 - R_{нв} = 0,024.$$

Розраховані значення ймовірностей ураження R_n при застосуванні зенітних автоматів мають досить малі значення. Для поліпшення показника ефективності стрільби доцільно або зменшити значення σ_y, σ_z та r_y, r_z ЗГРК “Тунгуска” або проводити обстріл цілі спочатку ракетою, а потім чергою снарядів.

Визначимо величини умовних ймовірностей ураження ТЦ цілі та БпЛА при послідовному обстрілі їх ракетою $R_1(\rho; m_n; \sigma_n; \sigma; k)$ і чергою снарядів $R_n(S; \sigma_y; \sigma_z; r_y; r_z; \omega)$, де ρ – часткове значення промаху ракети (м), m_n – систематична складова помилок

наведення ракет (ПНР, м), σ_n – середнє квадратичне відхилення ракет у картинній площині стрільби (СКВ, м), σ – ефективна поверхня цілі (ЕПР), що обстрілюється (м²), k – значення відсутності та наявності завад по каналу неконтактного датчика цілі (НДЦ).

Спільну умовну ймовірність ураження повітряних цілей $R_{in}(\rho)$ при обстрілі цілей ракетою та снарядами знаходимо за виразом (3) [4]:

$$R_{in}(\rho) = 1 - \left\{ 1 - \left[1 - R_n(S; \sigma_y; \sigma_z; r_y; r_z; \omega) \right] \left[1 - R_l(\rho; m_n; \sigma_n; \sigma; k) \right] \right\}. \quad (3)$$

де $R_{in}(\rho)$ – сумісна умовна ймовірність ураження ТЦ за відсутності протидії стрільбі ракетою та снарядами (при моделюванні були прийняті наступні значення: $S = S_{minTЦ} = 9,1 \text{ м}^2$, $\sigma_y \approx \sigma_z \approx 37 \text{ м}$; $r_y \approx r_z \approx 20 \text{ м}$; $\omega \approx 4$; $m_n \approx 0,5 \text{ м}$; $\sigma_n \approx 1,5 \text{ м}$; $\sigma = 1 \text{ м}^2$ і $k = 1$). $R_{2n}(\rho)$ – умови моделювання, що й попередні, але є вплив завад по каналу неконтактного датчика цілі (НДЦ) ракети ($k = 16$); $R_{3n}(\rho)$, $R_{4n}(\rho)$ – відповідно сумісні умовні ймовірності ураження БпЛА типу ”Форпост” при відсутності та наявності завад по каналу НДЦ ракети (при моделюванні були прийняті наступні значення: $S = S_{min\Phi} = 0,58 \text{ м}^2$; $\omega \approx 1$; $\sigma = 10^{-2} \text{ м}^2$; $k = 1$ та $k = 16$).

Результати числового моделювання значень $R_{in}(\rho)$ наведені на рисунку 2.

Крива 1 $R_{1n}(\rho)$ та 2 $R_{2n}(\rho)$ відображають значення умовних імовірностей ураження ТЦ відповідно за відсутності та наявності завад по каналу НДЦ ракети.

Одержали сумісну умовну ймовірність $R_{1n}(2,9) \approx 0,84$ та $R_{2n}(2,9) \approx 0,69$, що свідчить про високу ефективність стрільби ЗГРК по ТЦ. Криві 3 $R_{3n}(\rho)$ і 4 $R_{4n}(\rho)$ відповідно показують величини сумісної умовної ймовірності ураження БпЛА типу ”Форпост”, за відсутності протидії стрільбі та за умови, що притидія (завади) є лише по каналу НДЦ ракети. При числовому моделюванні отримали наступні значення ймовірності: $R_{3n}(1,4) \approx 0,34$ та $R_{4n}(2,9) \approx 0,24$, хоча $R_{3n}(2,9) \approx 8 \cdot 10^{-3}$.

Рис.2. Величини сумісної умовної ймовірності ураження цілей $R_{in}(\rho)$ ЗГРК залежно від часткового значення промаху ракети ρ

Рис.3. Величини сумісної умовної імовірності ураження цілей $R_{in}(\rho)$ ЗГРК залежно від часткового значення промаху ракети ρ при застосуванні завад

Умови стрільби при розрахунку $R_{5n}(\rho)$ (3) передбачають, що противник застосовує завади високої щільності ($\Delta P = 12$ дБ, 16 разів) по радіолокаційній станції супроводження цілі ЗСУ ($\sigma_n \approx 4,3$ м) та ТЦ маневрує з перевантаженнями $\sim 5g$ ($m_H \approx 5,1$ м), за умов $S = S_{minTC} = 9,1\text{ м}^2$, $\sigma_y \approx \sigma_z \approx 37$ м, $r_y \approx r_z \approx 20$ м, $\omega \approx 4$, $\sigma = 1\text{ м}^2$ і $k = 1$. Розрахунки показали, що при заданих умовах маємо значення імовірності ураження: $R_{5n}(2,9) \approx 0,14$ та $R_{5n}(4,6) \approx 0,26$, що є не нижче 0,1 навіть при застосуванні завад високої щільності по ССЦ та значній перевантаженості ТЦ. Значення $R_{6n}(\rho)$ відображають ту саму протидію стрільби, але додається застосування завади високої щільності по каналу НДЦ ракети ($k = 16$). У результаті моделювання отримали наступні значення ймовірностей: $R_{6n}(2,9) \approx 0,12$ та $R_{5n}(5) \approx 0,17$, що підтверджує ефективність застосування ЗГРК в надскладних умовах завадової обстановки. Розраховані ймовірності $R_{7n}(\rho)$ і $R_{8n}(\rho)$ при стрільбі по БпЛА типу "Форпост" при застосуванні завад по каналах ССЦ ЗСУ та НДЦ ракети. Результати числового моделювання показали, що ймовірність ураження в цьому випадку низька (менше 0,1) $R_{7n}(1,5) \approx 0,03$ та $R_{5n}(2,9) \approx 0,04$. З цього можна зробити висновок, що проводити стрільбу за таких завадових умов (коли по станції ССЦ ЗСУ застосовуються завади високої щільності і противник ставить заваду по каналу НДЦ ракети) по БпЛА (де ЕПР σ становить 10^{-2} м²) недоцільна.

У випадку, коли обслуга ЗСУ ЗГРК "Тунгуска" виявляє та супроводжує ціль за допомогою штатних радіолокаційних станцій РЛС, похила дальність до дальньої межі зони ураження (ЗУ) при стрільбі на зустрічному курсі однією ракетою визначається як $r_{dl}(\sigma; \Delta; V)$, де Δ – відношення потужності завад до потужності власних шумів р/л каналу станції виявлення та цілевказівки (СВЦ) ЗСУ [3 дБ (2 рази) – слабкі, 7 дБ (5 разів) – середні, 12 дБ (16 разів) – сильні, 20 дБ (100 разів) – щільність подавляюча]. Розрахунок проведемо для висоти цілі $H = 500$ м та без цілевказівки:

$$r_{dl}(\sigma; \Delta; V) = \frac{D_{acl}(\sigma; \Delta) - 7,5V}{1 + 1,75 \cdot 10^{-3}V}, \quad (4)$$

де $D_{acl}(\sigma; \Delta)$ – дальність узяття цілі на автосупроводження з врахуванням її ЕПР та рівня завад.

Результати розрахунку за (4) $r_{дi}(\sigma; \Delta; V)$ приведені на рисунку 4.

Рис.4. Похила дальність до дальньої межі ЗУ $r_{дi}(\sigma; \Delta; V)$
ЗСУ без цілевказівки залежно від значень σ , Δ та V

Криві 1 $r_{д1}(\sigma; 0; 40)$ та 2 $r_{д1}(\sigma; 16; 40)$ побудовані при $H=500$ м. Розрахунки показали, що похилі дальності до дальньої межі ЗУ за заданих умов практично співпадають $r_{д1}(3,2 \cdot 10^{-3}; 0; 40) \approx 2,504 \cdot 10^3$ м і $r_{д1}(8,4 \cdot 10^{-2}; 16; 40) \approx 2,506 \cdot 10^3$ м. Значення кривих 3 $r_{д2}(\sigma; 0; 40)$ та 4 $r_{д2}(\sigma; 16; 40)$ практично збігаються із значеннями кривих 1 та 2. Для зручності аналізу ходу цих двох кривих їх значення збільшені на 400 м. При збільшенні висоти цілі до $H = 2000$ м ближня межа ЗУ ЗГРК переміщується назустріч цілі, що підтверджують криві 5 $r_{д3}(\sigma; 0; 40)$ та 6 $r_{д3}(\sigma; 16; 40)$. При цьому для заданих величин значення для дальньої межі ЗУ відповідно становитиме $r_{д3}(3,4 \cdot 10^{-2}; 0; 40) \approx 5,35 \cdot 10^3$ м (крива 5) і $r_{д3}(0,56; 16; 40) \approx 4,99 \cdot 10^3$ м (крива 6). За результатами розрахунків можемо зробити висновок про певне обмеження у роботі ЗСУ при зростанні висоти польоту цілі. За відсутністю завад ($\Delta=0$) при ЕПР цілі менше $0,02$ м² стрільба ракетним каналом неможлива на відстані менше 5000 м. При постановці завад ($\Delta=16$) при ЕПР цілі менше $0,6$ м² стрільба ракетним каналом неможлива на відстані менше 4800 м. Хоча це не принципово для ЗГРК “Тунгуска”, тому що ЗСУ має можливість обстрілювати повітряні цілі артилерійським каналом (без РЛС) за допомогою оптичного прицілу.

Визначення похилої дальності до дальньої межі ЗУ $r_{дi}(\sigma; \Delta; V)$ при відпрацьованій точній цілевказівці на ЗСУ будемо проводити для різних висот:

$$r_{д4}(\sigma; \Delta; V) = \frac{D_{ac4}(\sigma; \Delta) - 7,5V}{1 + 1,75 \cdot 10^{-3}V}. \quad (5)$$

Результати чисельного моделювання приведені на рисунку 5.

Рис.5. Похила дальність до дальньої межі ЗУ $r_{di}(\sigma; \Delta; V)$
при відпрацьованні точної ЦВ на ЗСУ залежно від значень σ , Δ та V

Криві 1 $r_{d4}(\sigma; 0; 40)$ та 2 $r_{d4}(\sigma; 16; 40)$ отримані для $H = 500$ м. Крива 3 $r_{d5}(\sigma; 0; 40)$ та 4 $r_{d5}(\sigma; 16; 40)$ – для $H = 1$ км. Для кращої візуалізації значення кривих 3 та 4 збільшимо на 400 м. Для $H = 2000$ м одержали криві 5 $r_{d6}(\sigma; 0; 40)$, 6 $r_{d6}(\sigma; 16; 40)$. Заради наочності відображення цих кривих 5 і 6 H зменшено на 400 м. Для роботи ЗСУ без цілевказівки (Рис.4) спостерігаємо поліпшення значень похилої дальності, якщо висота цілі становить 2000 м. Тобто, при якісній цілевказівці, прийомі і відпрацюванні її на ЗСУ розширюються можливості ЗГРК “Тунгуска”. Дальність до дальньої межі ЗУ без цілевказівки (автономні дії обслуги) (Рис.4) становить:

$$r_{d3}(3,4 \cdot 10^{-2}; 0; 40) \approx 5,35 \cdot 10^3 \text{ м і } r_{d3}(0,56; 16; 40) \approx 4,99 \cdot 10^3 \text{ м,}$$

а при отриманні ЦВ маємо такі результати:

$$r_{d6}(3,8 \cdot 10^{-3}; 0; 40) \approx 2,5 \cdot 10^3 \text{ м і } r_{d6}(6,2 \cdot 10^{-2}; 16; 40) \approx 2,5 \cdot 10^3 \text{ м.}$$

Підвищення ефективності застосування зенітних автоматів ЗГРК “Тунгуска” може бути реалізовано за рахунок суттєвого доопрацювання каналу наведення артилерійського озброєння або снаряда. Снаряд має бути обладнаний підриивником з програмованим часом підриву [11, 12], що суттєво знизить витрати боєприпасів та підвищить точність ураження. Для збільшення значення умовної ймовірності ураження цілі необхідно зменшувати систематичні складові похибок стрільби та їх середнього відхилення.

Для знищення малорозмірних цілей ракетою ЗГРК потрібно підвищувати чутливість (збільшити частоту генератора тактових імпульсів) та збільшувати радіус спрацювання неконтактного датчика цілі (НДЦ) ракети з 5 м до 10 (15) м.

Висновки

Таким чином, отримані результати числового моделювання похилої дальності до дальньої межі зони ураження та ймовірностей ураження ЗГРК ракетним та артилерійським озброєнням в різних умовах бойового застосування. Проведено аналіз значень умовних ймовірностей ураження типової цілі для ЗСУ та БПЛА типу “Форпост” при обстрілі однією ЗСУ та взводом (трьома) ЗСУ. Визначені значення похилих дальностей до дальніх меж зон

ураження в різних умовах бойового застосування. Під час моделювання були враховані параметри, які знижують значення умовних імовірностей ураження цілей (завади високої щільності по каналу НДЦ ракети, завади високої щільності в каналі ССЦ ЗСУ та маневрування цілі з великим перевантаженням). Сформульовані пропозиції щодо підвищення показників ефективності стрільби.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Основы стрельбы и управления огнем войсковых зенитных ракетных комплексов. Ч. 1 / В.З. Казачинский, А.А. Каипецкий, Г.Л. Нестеренко [и др.]; под. ред. Семенова. – К.: КВАИУ, 1971. – 468 с.
2. Неупокоев Ф.К. Стрельба зенитными ракетами. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Воениздат, 1980. – 294 с.
3. Ковтуненко А.П. Основы теории построения и моделирования функционирования сложных систем вооружения / А.П. Ковтуненко, Н.А. Шершневу. – Х.: ВИРТА, 1992. – 233 с.
4. Фирсов В.М. Зенитный пушечно-ракетный комплекс “Тунгуска” / В.М. Фирсов, М.А. Моргунов, [и др.] – М.: Воениздат, 1991. – 248 с.
5. Основы стрільби та керування вогнем: навч. посіб. / В.Є. Кудряшов, С.Г. Леушин, В.І. Самоквіт. – Х.: ХУПС, 2016. – 232 с.
6. Пушкорис В.П. Управление огнем войск ПВО Сухопутных войск: учебник. – К.: ВА ПВО СВ, 1989. – 556 с.
7. Анализ возможностей, состояния и перспектив развития малоразмерных воздушных средств наблюдения, разведки и наведения / М.Г. Иванец, Д.М. Литовченко, В.В. Воинов, Г.В. Ермаков // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. № 6(73). – С.50–53.
8. Ермаков Г.В. Оценка мощности непреднамеренных помех для станции обнаружения целей, создаваемых сверхширокополосными РТС / Г.В. Ермаков, Д.С. Калугин, О.Л. Смирнов, Д.М. Литовченко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2006. – Вип. № 1(50). – С. 42–47.
9. Fire effectivity indicators of ZU-23 antiaircraft twin barreled autocannon in different conditions / Kutsenko V., Kudryashov V., Dobrovolskiy D., Skopintsev O., i Isaieva V / Збірник наукових праць ЛОГОС, Червень 2020, С. 125–131. – DOI:10.36074/05.06.2020.v4.45.
10. Сучасне озброєння і військова техніка Збройних сил Російської Федерації: довідник учасника ООС / С.П. Корнійчук, О.В. Турінський, Г.В. Певцов, [та ін.]; за заг. ред. С.П. Корнійчука. – Х.: ДІСА ПЛЮС, 2020. – 1220 с.
11. Одинцов В.А. Необходим переход на калибр 40 мм. Независимое военное обозрение, 2004. – Режим доступа: https://nvo.ng.ru/armament/2004-04-09/6_kalibr.html. – дата доступу: 01.09.2021.
12. “Техмаш” взялся за 57-мм боеприпасы с управляемым подрывом. – Режим доступа: <https://xn--b1aga5aadd.xn--p1ai/2019/%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%8511/>. – дата доступу: 01.09.2021.

Литовченко Дмитро Михайлович

кандидат технічних наук, старший викладач кафедри бойового застосування озброєння ППО СВ факультету ППО СВ Харківського національного університету Повітряних Сил, Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5154-6060>
+38-067-572-06-75

Dmytro Lytovchenko

Candidate of Technical Sciences, Senior Instructor of the department combat application PPO SV of the Land Forces, Air Defense Weapons of the Land Forces, Air Defense faculty Land Forces Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5154-6060>
+38-067-572-06-75

Куценко Володимир Валерійович

кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник – провідний інженер-випробувач Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4174-2145>
+38-093-684-40-90

Volodymyr Kutsenko

Candidate of Technical Sciences, Lead Researcher – Senior Engineer Test Research of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4174-2145>
+38-093-684-40-90

**INDICATORS OF SA-19 “GRISON” ANTI-AIRCRAFT GUN MISSILE SYSTEM EFFICIENCY
WHEN FIRING AT NONTYPICAL TARGETS OF THE ROCKET AND ARTILLERY WEAPONS**

D Lytovchenko and V Kutsenko

In modern conditions of combat use the SA-19 “Grison” anti-aircraft gun missile system fires at small targets (drones) and typical targets (helicopters and attack aircraft), so a number of problems arise. In particular, they include: finding the value of the probabilities of hitting the target with n shots and one shot; assessing the effectiveness of the SA-19 “Grison” platoon’s concentrated fire on a single target; estimating errors of missile guidance and warhead detonation system; estimating the values of conditional probabilities of hitting a target with a single missile, depending on the value of particular mishit.

When calculating the slant range to the far edge of the SA-19 “Grison” weapon’s kill zone under different conditions of use, factors that reduce these ranges should be taken into account.

An analysis of the main studies and publications presented in [1-9] does not make it possible to determine the performance of missile and artillery weapons in shooting at small-size targets. This literature provides general approaches to solving this problem.

The purpose of this article is to develop a model for calculating the values of conditional probabilities of destruction of small targets, to form the best options for repelling an enemy’s air strike, as well as to justify the general directions of improvement of weapon’s elements.

Keywords: *far edge of the kill zone, radar cross-section, small-sized target, unmanned aerial vehicle, target engagement probability, non-contact target sensor, circular destruction law, engagement area, target detection range.*