

УДК 623.4.011

В.І. Макеєв, А.О. Вакал, І.В. Леганьков

Сумський державний університет, Суми

## МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ І БОЄПРИПАСІВ

*У статті розглянуті фактори, що визначають бойову ефективність військової техніки, розкрито характеристики уражаючої дії боєприпасів, проаналізовано показники бойової ефективності озброєння. Проведено аналіз потрібного наряду бойових засобів. Враховано вплив технічної готовності військової техніки і рівня спеціальної підготовки особового складу на ефективність діяльності військових підрозділів.*

**Ключові слова:** точність і кучність стрільби, уражаюча дія боєприпасів, бойова скорострільність, показники ефективності, ймовірність, витрата боєприпасів.

### Вступ

Військова продукція проходить стадії виробництва, розподілу, обміну та споживання. Завершальна стадія – споживання кінцевого військового продукту є дуже важливою. Якщо на перших трьох стадіях визначаються вимоги до військової техніки, проводяться дослідно-конструкторські роботи, здійснюються серійне виробництво і транспортування військової продукції, то на стадії споживання перевіряється на практиці кінцева ефективність, що залежить від результатів діяльності на всіх попередніх стадіях.

Таким чином, обґрунтованість вимог до тактико-технічних характеристик військової техніки, способи проведення випробувань військової техніки, рівень технологічної оснащеності серійного виробництва, якість контролю вихідних характеристик зразків озброєння, способи транспортування, зберігання і технічного обслуговування техніки виявляються в ефективності кінцевого військового продукту.

### Основний матеріал

У відповідності до функціональної структури військового виробництва кінцева військова продукція включає в себе дві основні частини: предмети особистого та колективного споживання військово-службовців та військову техніку. Особисте споживання регулюється економічними законами. Тут діє система продовольчого, речового та грошового забезпечення. Вона забезпечує нормальну життєдіяльність військовослужбовців, створює умови для підтримання їх здатності до військової праці з урахуванням специфіки дислокації і характеру функціонування частин і з'єднань.

Завершальним актом процесу реалізації військово-економічних можливостей держави є споживання військової техніки, що приводиться в дію військовослужбовцями. У мирний час споживання кінцевої військової продукції відбувається в процесі

бойової підготовки військ, у воєнний час – під час використання військової техніки за прямим призначенням в ході збройної боротьби.

1. Фактори, що визначають бойову ефективність.

Кількісно ефективність споживання кінцевого військового продукту оцінюється показниками бойової ефективності, під якими розуміються числові характеристики завданих противнику втрат або витрати бойових засобів.

На величину показників бойової ефективності впливають фактори, що характеризують зміст завдань і умови їх виконання, тактико-технічні характеристики військової техніки, способи її бойового використання і забезпечення технічної готовності, а також рівень бойової і психологічної підготовки особового складу. До числа цих факторів відносяться:

- 1) вид, розміри, захищеність і рухливість цілей;
- 2) точність визначення вихідних даних для ведення вогню по цілях, технічне розсіювання боєприпасів, час доби, метеорологічні умови та ін.;
- 3) уражаюча дія боєприпасів;
- 4) дальність стрільби і бойова скорострільність;
- 5) кількість і якість (тактико-технічні характеристики) бойових засобів, що залучаються для ураження об'єктів противника;
- 6) надійність озброєння і військової техніки;
- 7) рівень підготовленості особового складу, його моральний дух;
- 8) ступінь протидії противника.

Всі ці фактори, залежно від можливості впливу на них в умовах діяльності військ, можна умовно розділити на зовнішні і внутрішні. До зовнішніх факторів відносяться характер цілей і протидія противника, а також ТТХ військової техніки, що надходить у війська.

В умовах діяльності військ можна впливати на внутрішні фактори, до яких відносяться рівень спеціальної підготовки (навченості особового складу) і технічна готовність озброєння, а саме: у визначальній

мірі – на фактор рівня навченості військ, значною мірою – на рівень технічної готовності озброєння (шляхом раціональної організації його утримання, експлуатації та ремонту) і у вирішальній мірі – на кількість залучених бойових засобів, шляхом розв’язання задач оптимального розподілу цілей [1–2].

Розглянемо основні поняття теорії бойової ефективності та методи розрахунку кількісних значень показників ефективності застосування озброєння та військової техніки.

1.1. Характеристика цілі. У загальному випадку об’єкт ураження являє собою сукупність елементарних цілей, розташованих на обмеженому просторі. Під елементарною ціллю розуміється така одиночна ціль, яка не може бути розділена на частини без порушення її фізичної цілісності (командний пункт, радіолокаційна станція, танк та ін.).

Розміщення елементарних цілей у просторі може бути рівномірним або нерівномірним. Об’єкти з рівномірною щільністю розподілу елементарних цілей на його площі називаються площинними (взводні опорні пункти, артилерійські батареї та ін.).

1.2. Точність і кучність стрільби. Точки падіння боєприпасів відхиляються від точки прицілювання по дальності (уздовж осі X) і напрямком (уздовж осі Y). Розглядаються дві групи випадкових відхилень (помилки): повторювані, що характеризують точність стрільби, і неповторювані (технічне розсіювання), що характеризує кучність стрільби (рис. 1).

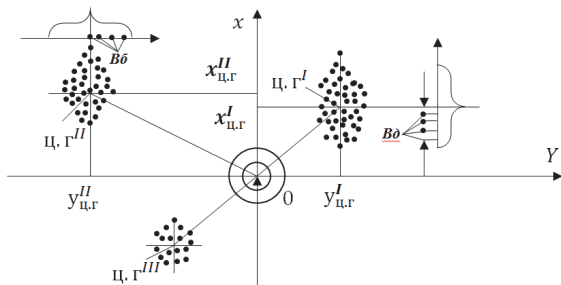


Рис. 1. Характеристики точності та кучності стрільби:

0 – центр прицілювання;  $ц\ г^I$ ,  $ц\ г^{II}$  – центр групування (ЦГ) фактичних попадань у I і II серіях стрільби;  $x_{цг}^I$ ,  $x_{цг}^{II}$  – координати ЦГ по дальності;

$y_{цг}^I$ ,  $y_{цг}^{II}$  – координати ЦГ по напрямку

Кількісною мірою помилок пострілу є серединні помилки по дальності  $E_{хв}$  і по напрямку  $E_{ув}$ . Для нормального розподілу точок попадання з нульовим математичним очікуванням [4]:

$$E_{хв} = \sqrt{E_x^2 + B_d^2}, E_{ув} = \sqrt{E_y^2 + B_b^2}, \quad (1)$$

де  $E_x$  і  $E_y$  – серединне відхилення центрів групування по дальності і по напрямку відповідно – характеристики точності;

$B_d$  і  $B_b$  – серединне відхилення точок попадання щодо центру групування по дальності і напрямку (рис. 1) – характеристики кучності.

Значення  $E_x$  і  $E_y$  визначаються виходячи з того, що точки, відповідні центрам групування, є окремими спостереженнями при формуванні закону розподілу помилок точності стрільби (окремо по осі X і по осі Y).

1.3. Характеристики уражаючої дії боєприпасів залежать від властивостей потужності боєприпасів (ударної хвилі, осколків, проникаючої радіації та ін.), а також від виду і ступеня захищеності цілі. Розрізняють зони достовірного ураження, недостовірного ураження і безпечних вибухів (рис. 2).

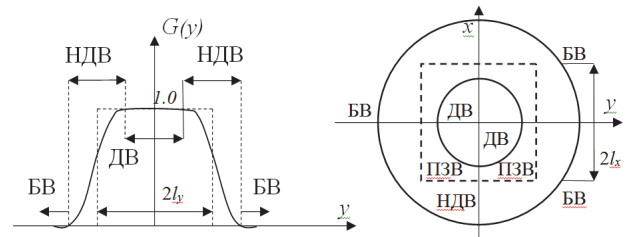


Рис. 2. Зони ураження: ДВ – зона достовірного ураження; НДВ – зона недостовірного ураження; БВ – зона безпечних вибухів; ПЗВ – приведена зона ураження;  $G(y)$  – імовірність ураження об’єктів

Для спрощення розрахунків зону достовірного ураження зазвичай розширюють за рахунок зони недостовірного ураження. Вважається, що ціль уражена, якщо боєприпас потрапив у цю розширену (приведену) зону ураження з радіусом  $r_3$ . Для звичайних боєприпасів приведена зона ураження представляють у вигляді рівновеликого прямокутника зі сторонами  $2l_x$  по дальності і  $2l_y$  за напрямком ( $\pi r_3^2 = 4l_x l_y$ ). Характеристики точності, кучності і уражаючої дії боєприпасів визначаються в полігонних умовах.

В результаті розробляються спеціальні таблиці, які використовуються під час планування бойових дій по об’єктах противника.

1.4. Дальність стрільби (далекобійність) – характеристика можливості зброї доставляти боєприпаси на певну відстань.

1.5. Бойова скорострільність – характеристика можливості зброї здійснити певну кількість пострілів за заданий час. Вона залежить від технічної скорострільності, часу перезарядки і часу відновлення наводки.

2. Показники бойової ефективності озброєння  
Конкретне найменування і чисельність значень показників бойової ефективності озброєння залежать від характеру об’єктів ураження і завданого впливу по ним.

При стрільбі по окремій цілі показником бойової ефективності є ймовірність її поразки. Якщо ві-

домі наведені розміри цілі, то ймовірність ураження визначається як ймовірність потрапляння точки в прямокутник з розмірами  $2l_x$  і  $2l_y$  (рис. 3).

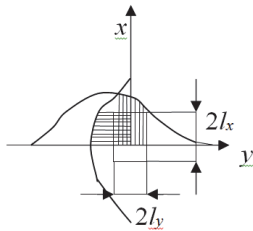


Рис. 3. Вірогідність попадання в прямокутник з розмірами  $2l_x$  і  $2l_y$

При цьому використовується формула [4]

$$P(\alpha < x < \beta) = \frac{1}{2} \left[ \hat{\Phi} \left( \frac{\beta - m_x}{E_x} \right) - \hat{\Phi} \left( \frac{\alpha - m_x}{E_x} \right) \right]. \quad (2)$$

Ця формула характеризує ймовірність потрапляння випадкової величини на фіксований відрізок. Якщо прийняти, що зсув центру розсіювання відносно центру цілі по дальності і за напрямком відсутній, тобто  $m_x=0$  і  $m_y=0$ , і врахувати, що

$$\hat{\Phi}(-x) = -\hat{\Phi}(x),$$

то ймовірності попадання на ділянку  $(-l_x) - (+l_x)$  по осі X, ділянку  $(-l_y) - (+l_y)$  по осі Y будуть відповідно дорівнювати:

$$\begin{aligned} P(-l_x < x < +l_x) &= \frac{1}{2} \left[ \hat{\Phi} \left( \frac{l_x - 0}{E_{x_B}} \right) - \hat{\Phi} \left( \frac{-l_x - 0}{E_{x_B}} \right) \right] = \\ &= \frac{1}{2} \left[ \hat{\Phi} \left( \frac{l_x}{E_{x_B}} \right) + \hat{\Phi} \left( \frac{l_x}{E_{x_B}} \right) \right] = \hat{\Phi} \left( \frac{l_x}{E_{x_B}} \right); \\ P(-l_y < y < +l_y) &= \hat{\Phi} \left( \frac{l_y}{E_{y_B}} \right). \end{aligned}$$

Оскільки ймовірність потрапляння в площу розміром  $2l_x$  і  $2l_y$  означатиме одночасне потрапляння на ділянку  $(-l_x) - (+l_x)$  і  $(-l_y) - (+l_y)$  то відповідно до теореми про примноження ймовірностей двох незалежних подій ймовірність потрапляння точки в прямокутник можна визначити за формулою

$$P_1 = \hat{\Phi} \left( \frac{l_x}{E_{x_B}} \right) \hat{\Phi} \left( \frac{l_y}{E_{y_B}} \right). \quad (3)$$

Наприклад, для командного пункту з приведеними розмірами  $2l_x=7$  м,  $2l_y=5$  м при характеристиках точності і кучності стрільби 122-мм гаубицею Д-30  $E_{x_B}=10$  м,  $E_{y_B}=1,5$  м [4] ймовірність ураження при одному пострілі дорівнює

$$P_1 = \hat{\Phi} \left( \frac{3,5}{10} \right) \hat{\Phi} \left( \frac{2,5}{1,5} \right) = 0,1866 \cdot 0,739 = 0,1379.$$

Значення складових беруть з таблиці  $\hat{\Phi}(\beta)$  [4].

Для оцінки ймовірності поразки кількома пострілами необхідно використовувати формули (4) і (5).

$$P_n = 1 - (1 - P_1)^n; \quad (4)$$

$$P_n = 1 - (1 - P_{11})^{n_1} (1 - P_{12})^{n_2} \dots \quad (5)$$

Для розглянутого прикладу при кількості пострілів  $n_B = 10$

$$P_{10} = 1 - (1 - 0,1379)^{10} = 1 - 0,227 = 0,773.$$

Як показник втрат противника при ураженні площинного об'єкта приймається математичне очікування частки ураженої площі  $M_{Ц}$ .

При стрільбі з оптимальним штучним розсіюванням цей показник розраховується за формулою [1]

$$M_{Ц} = \frac{1}{21 \alpha' + 0,9}, \quad (6)$$

де

$$\alpha' = \frac{E_x' E_y'}{n_B S_{\Pi}};$$

$$E_x' = E_x \sqrt{1 + 0,15 \left( \frac{l_x}{E_{x_B}} \right)^2}, \quad E_y' = E_y \sqrt{1 + 0,15 \left( \frac{l_y}{E_{y_B}} \right)^2},$$

$n_B$  – витрата боєприпасів (кількість пострілів);  
 $S_{\Pi}$  – площа приведеної зони ураження елементарної цілі;

$l_x, l_y$  – половина довжини і ширини площі ураження.

При використанні ракет у звичайному спорядженні ймовірність ураження цілі при одному пуску розраховується за формулою (3), в якій наведені розміри цілі визначаються із співвідношення  $2l_x = 2l_y = 1,78 R$ ,

де  $R$  – радіус наведеної зони ураження.

3. Визначення необхідної кількості бойових засобів

При вирішенні завдань планування використання бойових засобів важливо вміти визначати потребу у витраті боєприпасів. Вона залежить від необхідного рівня втрат, що наноситься противнику  $P_{ТР}$ , характеру об'єктів і тактико-технічних характеристик озброєння. Числові характеристики необхідної кількості бойових засобів називаються потребою засобів.

Потребу боєприпасів при ураженні окремої цілі  $n_B$ , можна визначити шляхом логарифмування формули (4) із заміною поточного значення  $P_n$  і потрібного  $P_{ТР}$ :

$$n_B = \frac{\ln(1 - P_{ТР})}{\ln(1 - P_1)}. \quad (7)$$

Дослідним шляхом отримано залежність для визначення кількості потрібних боєприпасів для ураження площинної цілі з необхідним математичним очікуванням частки ураженої площі  $M_{ЦТР}$ :

$$n_B = \frac{4L'_x L'_y}{S_{\tau}} \ln(1 - M_{ЦТР}), \quad (8)$$

де  $L'_x = \sqrt{L_x^2 + 6,6E_x^2}$ ;  $L'_y = \sqrt{L_y^2 + 6,6E_y^2}$ .

Необхідна кількість бойових засобів  $N_{op}$  залежить від розрахованої потреби  $n_b$  і режиму вогню  $n(t)$  [4]:

$$N_{op} = \frac{n_b}{n(t)}, \quad (9)$$

де  $n(t)$  – режим вогню, тобто кількість бойових пострілів, вироблених одним засобом за час  $t$ .

4. Врахування технічної готовності військової техніки

Результати діяльності особового складу частин і з'єднань проявляють себе в показниках бойової готовності. Для оцінки ефективності діяльності військових підрозділів, що пов'язана з обслуговуванням і експлуатацією озброєння і організацією бойової підготовки, необхідно встановити кількісний зв'язок між проміжними результатами і кінцевим. Розглянуті в розділах 2, 3 формули, були використані з припущенням, що бойові засоби під час роботи абсолютно надійні, особовий склад ідеально навчений і не відчуває психологічних перевантажень, а противник не чинить опору. Насправді умови не є ідеальними, що істотно знижує кінцеві результати, які відбиваються на показниках бойової ефективності.

Технічна готовність озброєння залежить від його надійності і здатності особового складу усувати несправності, що виникають.

Під надійністю озброєння розуміється його властивість виконувати задані функції, зберігаючи протягом необхідного проміжку часу свої експлуатаційні показники в заданих межах.

Показник надійності  $P_n$  визначається за формулою [3]:

$$P_n = K_r P(\tau_n) P(\tau_{op}), \quad (10)$$

де  $K_r$  – показник оперативної готовності озброєння;

$P(\tau_n)$  – показник надійності підготовки озброєння до застосування;

$P(\tau_{op})$  – показник надійності озброєння в процесі застосування.

Показник оперативної готовності визначається за формулою [3]:

$$K_r = 1 - \frac{T_p}{T_e}, \quad (11)$$

де  $T_p$  – кількість днів у році, коли гармата знаходиться в несправному стані;

$T_e$  – кількість днів експлуатації.

Це, по суті, ймовірність того, що військова техніка готова до моменту надходження команди для використання за призначенням. Величина  $K_r$  залежить від часу, необхідного для проведення ремонтів, технічних обслуговувань, усунення несправностей і т. п.

Отже, скорочуючи час на проведення планових заходів і не допускаючи непланових простоїв, можна значно підвищити коефіцієнт готовності. У свою чергу, підвищення  $K_r$  збільшить показник кінцевої результативності. Наприклад, якщо гармата протягом року ( $T_e = 365$  днів) знаходиться в несправному стані 22 дні ( $T_p = 22$  дні), то по формулі (11) коефіцієнт готовності буде дорівнювати

$$K_r = 1 - \frac{22}{365} = 0,94.$$

Якщо шляхом скорочення часу проведення планових ремонтів і технічних обслуговувань, а також зменшення непродуктивних простоїв вдасться скоротити  $T_p$  до 15 днів, то в цьому випадку коефіцієнт готовності підвищиться до

$$K_r = 1 - \frac{15}{365} = 0,96.$$

Складова  $P(\tau_n)$  в формулі (10) являє собою ймовірність того, що озброєння, яке перебуває у військах в момент надходження команди на бойове застосування, буде підготовлено за час, що не перевищує деяку задану величину  $\tau_n$ . Величина  $P(\tau_n)$  залежить від умов зберігання військової техніки, від регулярності перевірки техніки, що знаходиться в стані консервації, а також від якості обслуговування техніки в місцях її зберігання.

Показник надійності  $P(\tau_{op})$  являє собою ймовірність того, що військова техніка в процесі застосування не відмовить. Під відмовою техніки розуміється повна або часткова втрата її боєздатності. Для періоду нормальної експлуатації інтенсивність відмов  $\lambda$  вважається величиною постійною ( $\lambda = \text{const}$ ) і є паспортною характеристикою будь-якої технічної системи. Імовірність безвідмовної роботи в будь-який момент  $t$  визначається за формулою [2]:

$$P(\tau_{op}) = e^{-\lambda t}, \quad (12)$$

де  $e$  – основа натуральних логарифмів;

$\lambda$  – інтенсивність відмов техніки;

$t$  – відрізок часу від початку експлуатації до моменту, коли визначається ймовірність безвідмовної роботи.

Для обліку надійності техніки у формулі (7) ймовірність  $P_1$  повинна бути помножена на  $P_n$ . Множення  $P_1 P_n$  означає ймовірність ураження об'єкта при одному пострілі з урахуванням надійності техніки. В результаті формула (7) матиме вигляд

$$n_b = \frac{\ln(1 - P_{TP})}{\ln(1 - P_1 P_n)}. \quad (13)$$

5. Врахування рівня спеціальної підготовки особового складу

Показник рівня спеціальної підготовки особового складу  $P_{oc}$  це ймовірність того, що особовий склад (обслуга, екіпаж) здатний здійснити всі дії зі

зброєю, що необхідні для виконання бойового завдання. Підготовленість особового складу відіграє надзвичайно велику роль, бо зброя сама по собі не здатна забезпечити успіх. В єдності та взаємозв'язку людини і військової техніки людина займає чільне положення стосовно до техніки. Отже, військовослужбовці повинні вміти взяти від складного сучасного озброєння все, на що воно здатне, грамотно експлуатувати його, з максимальною ефективністю застосовувати в бою.

Крім чисто професійних знань, умінь і навичок військовослужбовці повинні бути загартовані морально і фізично, бути здатними витримати великі психічні та фізичні навантаження, обсяг яких постійно зростає. Обидві характеристики (професійна і морально-психологічна) повинні бути враховані при визначенні числових значень показників бойової ефективності.

Величину  $P_{oc}$  можна розділити на дві складові:  $P_{об}$ , що характеризує рівень спеціальної підготовки (навченості), та  $P_{пс}$ , що характеризує морально-психологічний аспект. Тоді  $P_{oc} = P_{об} P_{пс}$ .

Оцінка  $P_{пс}$  є досить значною проблемою і при військово-економічному аналізі вважається заданою величиною. Надалі  $P_{пс}$  приймається рівною одиниці.

З урахуванням викладеного, величина  $P_1$  в формулі (7) буде мати вигляд

$$P_{1(н oc)} = P_1 P_{пс} P_{oc}, \quad (14)$$

а формула  $P_n$  буде наступною

$$P_n = 1 - (1 - P_1 P_{пс} P_{oc})^n. \quad (15)$$

Отже, потребу боєприпасів можна визначити з формули

$$n_B = \frac{\ln(1 - P_{TP})}{\ln(1 - P_1 P_{пс} P_{oc})}. \quad (16)$$

## Висновки

Таким чином, наведені основні положення і надані математичні залежності дозволяють визначати показники бойової ефективності з урахуванням основних бойових характеристик зброї, а також результатів військової діяльності щодо забезпечення необхідного рівня технічної готовності військової техніки і рівня навченості особового складу. Це, в свою чергу, дозволяє вирішувати широкий спектр задач з пошуку найбільш оптимальних способів виконання заходів і, таким чином, підвищувати ефективність використання матеріальних, трудових і фінансових ресурсів, що виділяються на оборону країни.

## Список літератури

1. Венцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Венцель. – М.: Машиностроение, 1958. – 463 с.
2. Налимов В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 340 с.
3. Бородюк В.П. Некоторые вопросы организации эксперимента по сбору статистического материала / В.П. Бородюк, Г.К. Круг. – М.: Труды МЭИ, 1963. – 115 с.
4. Теоретические основы управления огнем наземной артиллерии / под общ. ред. А.И. Аверьянова. – М.: Издание ВАА, 1978. – 454 с.

Надійшла до редколегії 21.08.2017

**Рецензент:** канд. техн. наук ст. наук. співробітник І.В. Пасько, Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії, Суми.

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСОВ

В.И. Макеев, А.А. Вакал, И.В. Леганьков

*В статье рассмотрены факторы, определяющие боевую эффективность, раскрыты характеристики поражающего действия боеприпасов, проанализированы показатели боевой эффективности вооружения. Проведен анализ необходимого наряда боевых средств. Учтено влияние технической готовности военной техники и уровня специальной подготовки личного состава на эффективность деятельности военных подразделений.*

**Ключевые слова:** точность и кучность стрельбы, поражающее действие боеприпасов, боевая скорострельность, показатели эффективности, вероятность, расход боеприпасов.

## METHODS OF ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF COMBAT DESERTIFICATION SAMPLES OF ARMS AND AMMUNITION

V. Makeev, A. Vakal, I. Legankov

*The article considers the factors that determine combat effectiveness, reveals the characteristics of the damaging effect of ammunition. The combat effectiveness of weapons and the necessity of military facilities are analyzing as well. The importance of military equipment technical preparedness and level of staff special training for the effectiveness of military units was also taken into account.*

**Keywords:** precision and accuracy of the firing, damaging effect of ammunition, combat rate of the firing, efficiency level, probability, consumption of ammunition.