

УДК 629.76

В.П. Греков, А.А. П'янков, Ю.А. Ткаченко

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ОПТИМІЗАЦІЯ СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ МОГУТНІСТЮ БОЙОВОЇ ЧАСТИНИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКАМИ РОЗСІЮВАННЯ ВИСОКОТОЧНОГО ОЗБРОЄННЯ

У статті показаний підхід до визначення оптимального співвідношення між могутністю бойової частини і точністю її доставки до цілі. Імовірність ураження цілі при прямому попаданні в неї боєприпасом приймаємо як показник його ефективності. Цілі і зони ураження представлені прямокутниками з відомими лінійними розмірами. Знайдена аналітична залежність, яка дозволяє при проектуванні високоточного озброєння проводити оптимізацію могутності бойової частини для забезпечення потрібної імовірності ураження цілі та досяжної точності її доставки до цілі.

**Ключові слова:** могутність бойової частини, імовірність ураження, точність, планування експерименту, регресійна залежність, варіювання факторів.

### Вступ

**Постановка завдання.** Проектування засобів високоточного озброєння (ЗВО) потребує знання залежності між точністю наведення їх на ціль і могутністю бойової частини, яке забезпечує ураження цілі з достатньою ефективністю. Це дозволяє вибрати конструктивні параметри бойової частини і системи управління ЗВО забезпечивши максимальний ефект від їх застосування.

**Аналіз публікацій.** Встановлення раціонального співвідношення між характеристиками розсіювання і зонами ураження (ЗУ) бойових елементів для некерованих засобів ураження касетного типу вирішувалося в [1]. Для одиночного ЗВО по об'єкту прямокутної форми [2] отримана залежність імовірності ураження цілі від основних параметрів засобів ураження: потужності бойової частини (БЧ) і точності наведення на ціль, яку ми будемо використовувати в даному дослідженні.

**Мета статті** – викласти підхід до визначення співвідношення між могутністю БЧ і точністю її доставки до цілі, що забезпечує необхідну імовірність ураження цілі для вирішення задачі оптимізації конструктивних параметрів БЧ і системи наведення ЗВО на ціль.

### Основна частина

На рис. 1 приведена розрахункова схема розміщення зони ураження (ЗУ) з розмірами  $l_x \times l_z$  при застосуванні БЧ по цілі прямокутної форми з розмірами  $\Pi_x \times \Pi_z$ . Осі системи координат паралельні головним осям розсіювання. Прицілювання здійснюється по центру цілі. Для ураження цілі потрібне пряме попадання БЧ в ціль і ураження її елементів. Показником ефективності боєприпасу (БП) прийнята імовірність ураження цілі при прямому попаданні в неї. Точність наведення на ціль характеризується

величиною середньоквадратичного відхилення  $\sigma_x, \sigma_z$ .

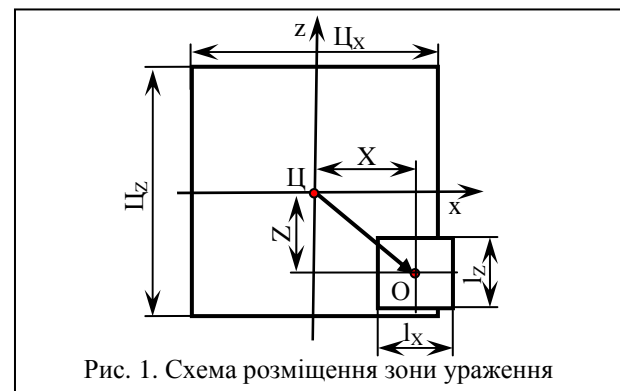


Рис. 1. Схема розміщення зони ураження

### 1 Математична модель точності застосування ЗВО

Потрібно знайти параметр точності застосування ЗВО  $t_x = \Pi_x / \sigma_x$  при відомих лінійних розмірах цілі і ЗУ та ймовірності ураження цілі  $\bar{G}$ .

Приведено розрахунок в напрямі осі x. Для розрахунку в напрямі осі z треба замінити індекс.

В розгорнутому виді співвідношення

$$\frac{\Pi_x}{\sigma_x} = f\left(\hat{W}_x \sqrt{\bar{G}}, \frac{l_x}{\Pi_x}\right), \quad (1)$$

між розмірами  $\lambda_x = \frac{l_x^*}{\Pi_x}$ , імовірністю  $\bar{G}$  та характеристикою точності ЗУ  $t_x$  для забезпечення заданої імовірності ураження цілі  $\hat{W}_x$  [2] має вигляд:

$$t_x = \frac{b}{k}, \quad (2)$$

$$\text{де } b(t_x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \left[ e^{-\frac{t_x^2(1-\lambda_x)^2}{2}} - e^{-\frac{t_x^2(1+\lambda_x)^2}{2}} \right];$$

$$k(t_x) = 2 \cdot \left( \frac{1}{1 + e^{-1,7 \left( \frac{t_x |1 - \lambda_x|}{2} \right)}} - 1 \right) + (1 + \lambda_x) \times \left[ \frac{1}{1 + e^{-1,7 \left( \frac{t_x (1 + \lambda_x)}{2} \right)}} - \frac{1}{1 + e^{-1,7 \left( \frac{t_x |1 - \lambda_x|}{2} \right)}} \right] - \hat{W}_x \sqrt{\bar{G}} \quad (3)$$

Перегин кривих  $t_x \cdot k(t_x)$  і  $b(t_x)$  дає значення функції  $t_x$  (рис. 2).

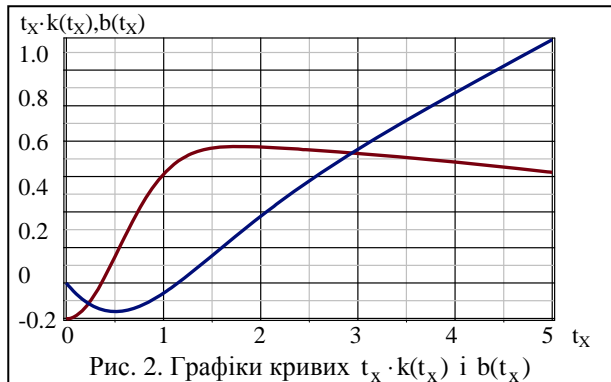


Рис. 2. Графіки кривих  $t_x \cdot k(t_x)$  і  $b(t_x)$

### 2 Кореляційна модель параметру точності ЗВО

Виходячи з нелінійності залежності параметру точності застосування ЗВО від співвідношення між розмірами  $\lambda_x$ , імовірністю ураження цілі  $\bar{G}$  та імовірністю накриття цілі зоною ураження  $\hat{W}_x$ , застосований симетричний, трьохрівневий, ротабельний план Бокса-Бенкена [3].

Основні рівні і інтервали варіювання факторів визначені на базі попередніх досліджень [2; 4]. У табл. 1 показані фактори в натуральному і кодованому вигляді, а також рівні та інтервали варіювання.

В загальному випадку квадратична модель регресії другого порядку від  $p$  кодованих параметрах  $x_1, \dots, x_p$  має наступний вигляд:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{p=3} \beta_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^{p=3} \beta_{ii} \cdot x_i^2 + \sum_{i,j=1}^{p=3} \beta_{ij} \cdot x_i \cdot x_j, \quad (4)$$

де  $\beta$  – коефіцієнти регресії.

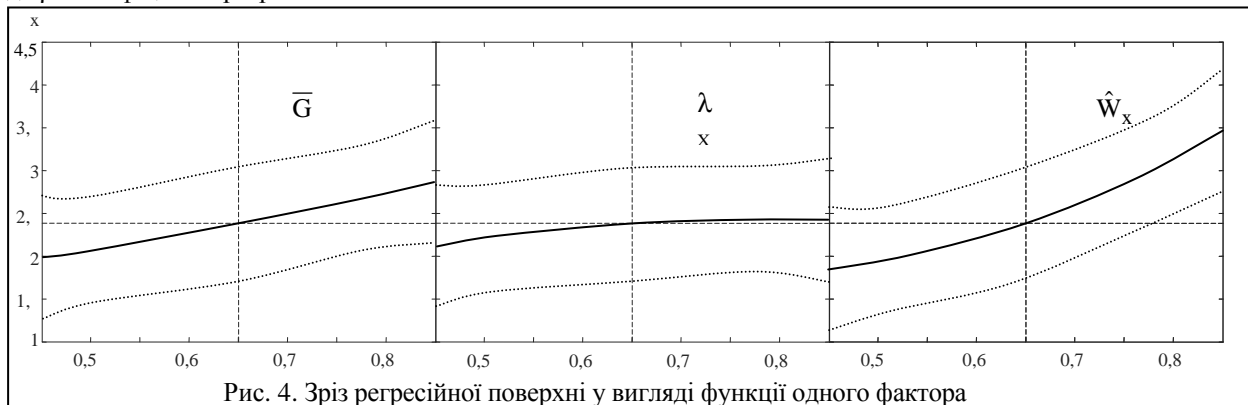


Рис. 4. Зріз регресійної поверхні у вигляді функції одного фактора

Таблиця 1

Рівні і інтервали варіювання факторів

Інтервал варіювання і чинник, що варіюється	$x_1, \bar{G}$	$x_2, \lambda_x$	$x_3, \hat{W}_x$
Верхній рівень $x_i = +1$	0,9	0,9	0,9
Нульовий рівень $x_i = 0$	0,7	0,7	0,7
Нижній рівень $x_i = -1$	0,5	0,5	0,5
Інтервал варіювання $\delta_i$	0,2	0,2	0,2

Побудова математичної моделі та регресійний аналіз виконувався за [3] з використанням математичного пакету Matlab/Octave.

Коефіцієнти (для нормованих значень) у вигляді гістограми показано на рис. 3. Найбільший вплив має імовірність накриття цілі зоною ураження.

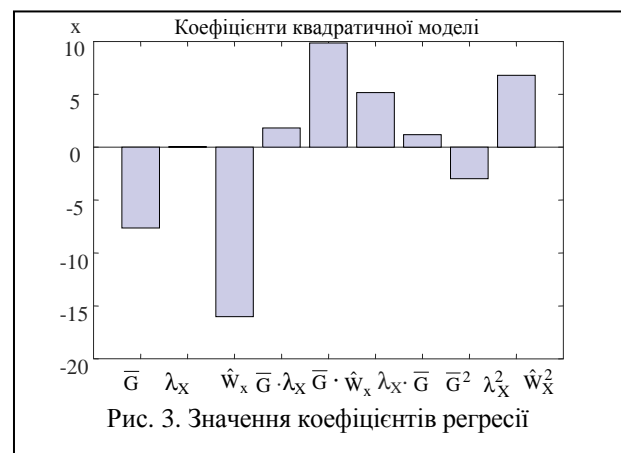


Рис. 3. Значення коефіцієнтів регресії

Кореляційна залежність параметру точності застосування ЗВО від співвідношення між розмірами, імовірністю ураження цілі та імовірністю накриття цілі зоною ураження:

$$t_x = 8,23 - 7,63 \cdot \bar{G} + 0,44 \cdot \lambda_x - 16,02 \cdot \hat{W} + 1,8 \cdot \bar{G} \cdot \lambda_x + 9,87 \cdot \bar{G} \cdot \hat{W} + 5,16 \cdot \lambda_x \cdot \hat{W} + 1,18 \cdot \bar{G}^2 - 2,98 \cdot \lambda_x^2 + 6,79 \cdot \hat{W}^2. \quad (5)$$

Залежність параметру точності від визначених параметрів можна спостерігати на рис. 4. Кожна ділянка представляє собою зріз через регресійну поверхню (6) у вигляді функції одного фактора, інші фактори вважаються незмінними.

Приклад 1. Необхідно уразити танк з лінійними розмірами  $C_x = 10$  м. Надлишковий тиск для ураження танку  $20 \text{ кг/см}^2$ . По об'єкту планується застосування крилатої ракети (КР) з фугасною бойовою частиною вагою  $100 \text{ кг}$ , що дає надлишковий тиск  $11 \text{ кг/см}^2$  на відстані  $3 - 4$  м. Приведена зона ураження БЧ  $I_x = 6,75$  м.

Приклад 2. Необхідно уразити пускову установку батареї ЗРК, з лінійним розміром  $C_x = 16,8$  м. Надлишковий тиск, що руйнує ціль  $1,6 \text{ кг/см}^2$ , досягається повітряним вибухом фугасу вагою  $100 \text{ кг}$  на відстані  $6,5$  м. По об'єкту планується застосування КР з БЧ фугасної дії з масою  $BP15 \text{ кг}$ , приведена зона ураження БЧ має розмір  $I_x = 14,44$  м.

Знаючи величини безрозмірного параметра  $t_x$  і  $C_x$ , знаходимо середньоквадратичне відхилення точок попадання відносно точки прицілювання в головних осях розсіяння при заданій масі бойової частини і характеристиках ЗУ для даної цілі:

$$\sigma_x = \frac{C_x}{t_x} \text{ м.} \quad (6)$$

Результати розрахунків показані в табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків

Параметри	Танк	ПУ ЗРК
$\bar{G}$	0,81	0,81
$\lambda_x$	0,75	0,86
$\hat{W}_x$	0,75	0,75
Параметр точності $t_x$	2,97	3,04
$\sigma_x$	3,36	5,53

Варіюючи вихідними даними можна отримати оптимальні параметри ЗУ.

## Висновки

Наведені аналітичні вирази дають явну залежність імовірності ураження цілі від параметрів засобів ураження – потужності бойової частини і точності наведення на ціль. Отримані результати дозволяють вирішувати завдання оптимізації конструктивних параметрів бойових частин і системи наведення на ціль.

## Список літератури

1. *Авиационные боеприпасы и их исследование: учебник для инженер. ВВУЗов ВВС / Ф.П. Миропольский, Р.С.Саркисян, О.Л. Вишняков, А.М. Попов; под ред. Ф.П. Миропольского. – М.: Изд. ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1996. – 527 с.*
2. *Буравлев А.И. Об оценке оптимального соотношения между мощностью боевой части и характеристиками рассеивания высокоточных средств поражения // Вооружение и экономика. – 2013. – № 3 (24). – С. 17-22.*
3. *Кононюк А.Е. Основы научных исследований (общая теория эксперимента): монография / А.Е. Кононюк: у 4 кн.; кн. 3. – К.: Освіта України, 2011. – 456 с.*
4. *Визначення наряду ракет для виконання бойових завдань / В.П. Греков, С.В. Орлов, А.А. П'янков, Ю.А. Ткаченко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил, 2015. – Вип. 4(45). – С. 23-25.*

Надійшла до редколегії 14.11.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук ст. наук. співробітник С.В. Герасимов, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

## ОПТИМИЗАЦИЯ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ МОГУЩЕСТВОМ БОЕВОЙ ЧАСТИ И ХАРАКТЕРИСТИКАМИ РАССЕЙВАНИЯ ВЫСОКОТОЧНОГО ВООРУЖЕНИЯ

В.Ф. Греков, А.А. П'янков, Ю.А. Ткаченко

*В статье показан подход к определению оптимального соотношения между мощностью боевой части и точностью ее доставки к цели. В качестве показателя эффективности боеприпаса принята вероятность поражения цели при прямом попадании в нее. Цели и зоны поражения представлены прямоугольниками с известными линейными размерами. Полученная аналитическая зависимость при проектировании высокоточного вооружения позволяет проводить оптимизацию могущества боевой части для обеспечения необходимой вероятности поражения цели и достигаемой точности ее доставки к цели.*

**Ключевые слова:** *могущество боевой части, вероятность поражения, точность, планирование эксперимента, регрессионная зависимость, варьирование факторов.*

## OPTIMIZATION OF RELATIONS BETWEEN POWER OF WARHEAD AND PRECISION WEAPONS CHARACTERISTICS DISPERSION

V.P. Grekov, A.A. P'yankov, Yu.A. Tkachenko

*The approach to definition of optimum ratio between the warhead power and accuracy of its delivery to the target describes in the article. The probability of a direct hitting in the target was accepted as a measure of the munition effectiveness. The targets and the kill zone are represented by rectangles with known linear dimensions. The resulting analytical dependence allows optimizing the warhead power to provide reasonable probability of hitting and achieved the accuracy of its delivery to the target at the design of high-precision weapons.*

**Keywords:** *warhead power, kill probability, accuracy, experimental design, regression dependence, varying factors.*