

Буравлев А.И.

## Об оценке оптимального соотношения между мощностью боевой части и характеристиками рассеивания высокоточных средств поражения

В статье рассмотрен подход к определению оптимального соотношения между мощностью боевой части и характеристиками рассеивания высокоточных средств поражения (СП). В качестве показателя эффективности высокоточных СП рассматривается вероятность поражения объекта при прямом попадании СП в него. Объекты и зоны поражения представляются прямоугольниками с известными линейными размерами. Получены аналитические зависимости вероятности поражения объекта в зависимости от мощности боевой части и точности наведения высокоточного СП.

Интенсивное развитие средств высокоточного оружия (ВТО) приводит к необходимости рассмотрения соотношения между точностью наведения их на цель и мощностью боевой части, обеспечивающей поражение цели с максимальной эффективностью. Это необходимо, прежде всего, для того, чтобы рационально выбрать конструктивно-технологические параметры боевой части и системы управления средств ВТО, обеспечив

тем самым максимальный эффект их применения.

Подобная задача решалась проф. Р.С. Саркисяном и И.Н. Акулиным (ВВИА им проф. Н.Е. Жуковского) применительно к неуправляемым средствам поражения (СП) кассетного типа с целью установления рационального соотношения между характеристиками рассеивания и зонами поражения боевых элементов [1].

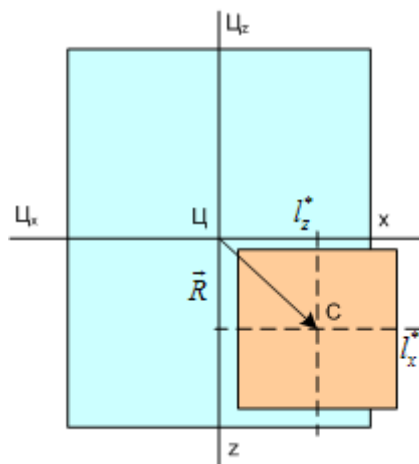


Рисунок 1 – Схема применения высокоточного СП по объекту

Рассмотрим решение данной задачи применительно к одиночному средству ВТО, действующему по объекту, который представляет собой прямоугольник с размерами  $C_x$ ,  $C_z$ , заданными в декартовой системе координат в плоскости стрельбы. Оси данной системы координат параллельны главным осям рассеивания (рисунок 1). Прицеливание осуществляется по центру цели. Для поражения

объекта необходимо прямое попадание СП в цель и поражение ее элементов фугасным или осколочно-фугасным действием. Мощность поражающего действия боевой части характеризуется размерами зоны поражения (ЗП), которая представляется также прямоугольником с размерами  $l_x$ ,  $l_z$  в плоскости стрельбы, и условной вероятностью поражения  $\bar{G} \leq 1$ . Точность наведения СП на цель ха-

рактируется величиной среднеквадратических отклонений (СКО)  $\sigma_x, \sigma_z$  точек попадания СП относительно точки прицеливания в главных осях рассеивания.

$$W = \frac{G \overline{S}_\Pi}{S_\zeta} = \frac{G \overline{V}_x \overline{V}_z}{\zeta_x \zeta_z}, \quad (1)$$

где  $\overline{V}_x, \overline{V}_z$  – средние значения перекрытий размеров цели размерами зоны поражения;  
 $\overline{S}_\zeta, \overline{S}_\Pi$  – размеры цели и зоны ее поражения.

$$V_x = \begin{cases} 0, & |X| > \frac{(\zeta_x + l_x)}{2}; \\ \frac{(\zeta_x + l_x)}{2} - |X|, & \frac{(\zeta_x - l_x)}{2} < |X| \leq \frac{(\zeta_x + l_x)}{2}; \\ l_x, & \frac{(\zeta_x + l_x)}{2}. \end{cases} \quad (2)$$

где  $|X|$  – расстояние между центром цели и точкой попадания СП, характеризующее величину промаха СП по оси  $x$ .

Приближенный расчет этих величин приведен в работе [3]. Здесь мы приводим точное решение для оценки среднего значения перекрытий  $\overline{V}$  прямоугольной зоны цели зоной поражения СП.

Рассмотрим случай, когда линейные размеры ЗП меньше линейных размеров цели ( $l < \zeta$ ). Величина перекрытия линейного размера цели линейным размером ЗП (например, по оси  $x$ ) определяется следующим выражением [2]:

График функции показан на рисунке 2.

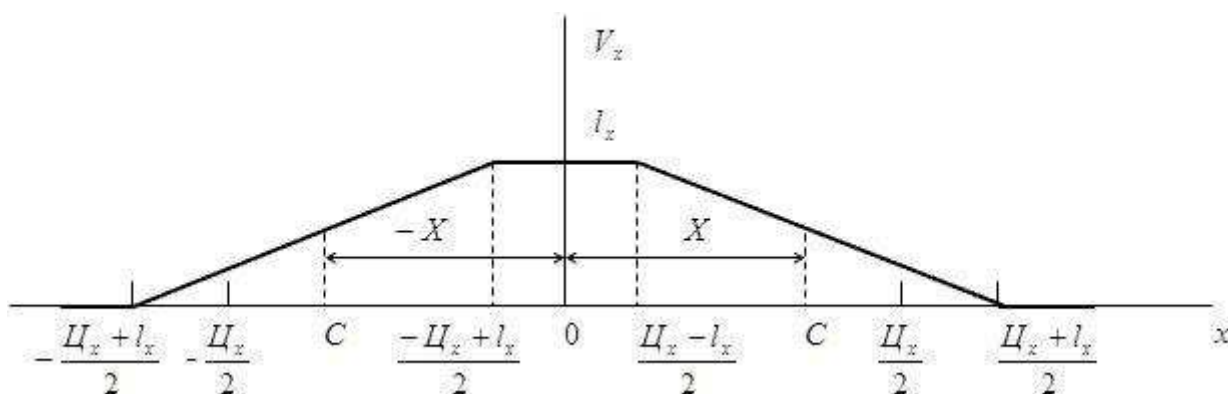


Рисунок 2 – График функции перекрытия  $V_x(|X|)$

Средняя величина перекрытия  $V_x$  получается интегрированием функции перекрытия по функции  $V_x(|X|)$  распределения промаха  $\phi(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right)$  с нулевым математическим ожиданием и средним квадратическим отклонением  $\sigma_x$  при прямом попадании СП в цель.

Конечный интеграл равен сумме трех интегралов  $\overline{V}_x = \int_{-\frac{\zeta_x}{2}}^{\frac{\zeta_x}{2}} V_x(x) \phi(x) dx = I_1 + I_2 + I_3$ ,

где  $I_1 = 2 \int_0^{\frac{\zeta_x - l_x}{2}} l_x \phi(x) dx = l_x \left[ 2\Phi\left(\frac{\zeta_x - l_x}{2\sigma_x}\right) - 1 \right];$

$$l_2 = 2 \int_{\frac{U_x - l_x}{2}}^{\frac{U_x}{2}} \left( \frac{U_x + l_x}{2} \right) \phi(x) dx = (U_x + l_x) \left[ \Phi \left( \frac{U_x}{2\sigma_x} \right) - \Phi \left( \frac{U_x - l_x}{2\sigma_x} \right) \right];$$

$$l_3 = 2 \int_{\frac{U_x - l_x}{2}}^{\frac{U_x}{2}} x \phi(x) dx = \sigma_x \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left[ \exp \left( -\frac{U_x^2}{8\sigma_x^2} \right) - \exp \left( -\frac{(U_x - l_x)^2}{8\sigma_x^2} \right) \right];$$

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \text{ - табличная функция Лапласа.}$$

Для проведения вычислений функцию Лапласа можно заменить логистической функцией  $\Phi(x) \approx \frac{1}{1 + e^{-1.7x}}$  с погрешностью

$$W_x = \frac{l_x}{U_x} \left[ 2 \Phi \left( \frac{U_x - l_x}{2\sigma_x} \right) - 1 \right] + \left( 1 + \frac{l_x}{U_x} \right) \cdot \left[ \Phi \left( \frac{U_x}{2\sigma_x} \right) - \Phi \left( \frac{U_x - l_x}{2\sigma_x} \right) \right] - \sigma_x \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left[ \exp \left( -\frac{U_x^2}{8\sigma_x^2} \right) - \exp \left( -\frac{(U_x - l_x)^2}{8\sigma_x^2} \right) \right].$$

В случае, когда размеры ЗП превышают размеры цели ( $l > U$ ), величина  $\frac{U_x - l_x}{2}$  меняет знак на противоположный, что приводит к изменению пределов интегрирования в инте-

$$W_x = \min \left\{ 1, \frac{l_x}{U_x} \right\} \left[ 2 \Phi \left( \frac{U_x - l_x}{2\sigma_x} \right) - 1 \right] + \left( 1 + \frac{l_x}{U_x} \right) \cdot \left[ \Phi \left( \frac{U_x}{2\sigma_x} \right) - \Phi \left( \frac{U_x - l_x}{2\sigma_x} \right) \right] + \frac{\sigma_x}{U_x} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left[ \exp \left( -\frac{U_x^2}{8\sigma_x^2} \right) - \exp \left( -\frac{(U_x - l_x)^2}{8\sigma_x^2} \right) \right]. \quad (3)$$

Аналогичный результат получается и для вероятности накрытия  $W_z$ .

Зная вероятности накрытия цели зоной поражения  $W_z, W_z$  и условную вероятность поражения объекта внутри ЗП  $\bar{G}$ , нетрудно рассчитать вероятность поражения цели  $W = \bar{G} W_x W_z$ .

На рисунке 3 представлены графики зависимости вероятности перекрытия  $W_x = V_x / U_x$  в зависимости от относительных размеров цели  $U_x / \sigma_x$ , зоны поражения  $l_x / U_x$  и условной вероятности поражения объекта внутри ЗП  $\bar{G} = 1$ .

Как и следовало ожидать, с увеличением размеров ЗП увеличивается и вероятность поражения цели.

В действительности размеры зоны поражения СП  $l_x, l_z$  и условная вероятность по-

аппроксимации не более 1% при всех возможных значениях аргумента  $x$ .

После деления  $V_x$  на линейный размер цели  $U_x$  получаем выражение для вероятности перекрытия цели ЗП по оси  $x$ :

гралах  $l_1, l_2$ . Кроме того, максимальное перекрытие будет равно размеру цели  $U_x$ . С учетом этого выражение для вероятности накрытия цели зоной поражения СП по оси  $x$  принимает вид:

ражения  $\bar{G}$  связаны между собой интегральным соотношением для координатного закона поражения  $G(x, z)$  [1]:

$$S_{\Pi} = \iint_{-\infty}^{\infty} G(x, z) dx dz = \bar{G} l_x l_z. \quad (4)$$

Если  $\bar{G} = 1$ , то интеграл (4) дает нам площадь приведенной зоны поражения  $S_{\Pi} = l_x l_z$ , при накрытии которой цель поражается с вероятностью единица. Если  $\bar{G} < 1$ , то  $S_{\Pi} = \bar{G} l_x^* l_z^*$  - есть площадь эффективной ЗП, при накрытии которой элементарная цель поражается с вероятностью  $\bar{G} < 1$  [4]. Отсюда видно, что размеры эффективной и приведенной ЗП связаны между собой зависимостью

$$l^* = \frac{l}{\sqrt{\bar{G}}}, \quad (5)$$

где  $l$  - размеры приведенной зоны поражения с  $\bar{G} = 1$ .

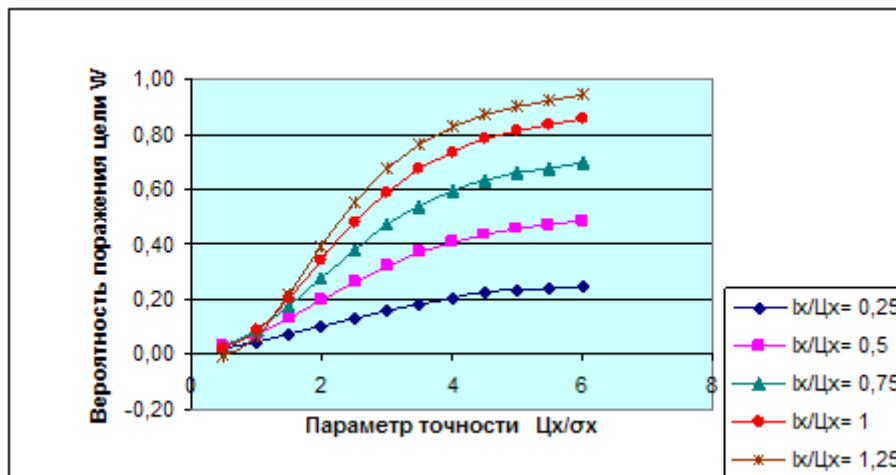


Рисунок 3 – Зависимость вероятности перекрытия цели от размеров ЗП и точности применения СП

На рисунках 4, 5 показаны графики зависимости вероятностей поражения цели для  $\bar{G}=1$  и  $\bar{G}=0,8$ , рассчитанные согласно зависимости (5) для размеров ЗП  $l_x^*/C_x=0,5; 1,0$ .

Исследования показывают, что с увеличением размеров ЗП при одновременном уменьшении ее эффективности, вероятность

поражения цели снижается. Это снижение становится заметным при значениях  $\bar{G}<0,8$  и  $l_x^*/C_x>0,5$ . Используя эти результаты, найдем соотношение между размерами  $l_x^*/C_x$  и эффективностью ЗП  $\bar{G}$ , и точностью применения СП  $C_x/\sigma_x$  для обеспечения заданной вероятности поражения цели  $\hat{W}$ .



Рисунок 4 – Графики зависимости вероятностей поражения цели для ЗП с параметрами  $\bar{G}=1$ ;  $\bar{G}=0,8$ ;  $l_x^*/C_x=0,5$

Умножим левую часть выражения (3) на  $\sqrt{\bar{G}}$  и заменим в его правой части параметр  $l_x$  на  $l_x^*$ . Тогда при равенстве  $W=\hat{W}$  получаем нелинейное уравнение для определения

потребной величины  $\frac{C_x}{\sigma_x} = f\left(\hat{W}\sqrt{\bar{G}}, \frac{l_x^*}{C_x}\right)$ . Схема определения величины показана на рисунке 6.



Рисунок 5 – Графики зависимости вероятностей поражения цели для ЗП с параметрами  $\bar{G}=1$  ;  $\bar{G}=0,8$  ;  $l_x^*/\zeta_x=1,0$

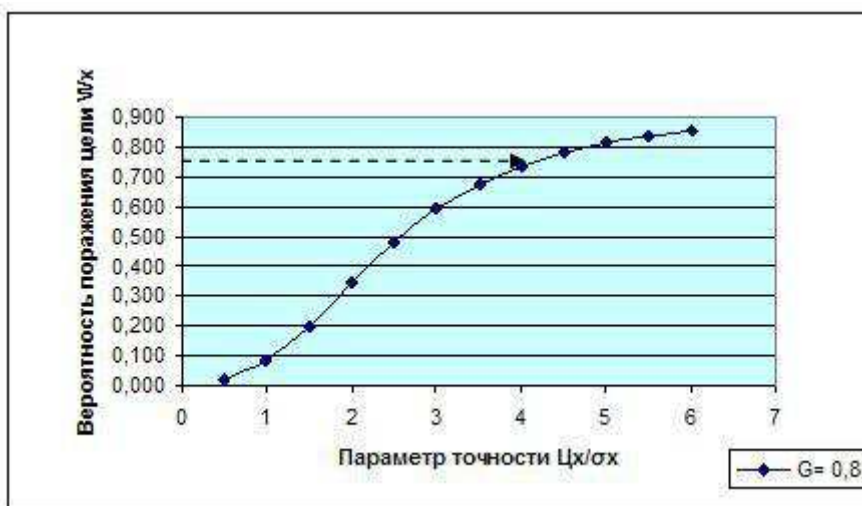


Рисунок 6 – Схема определения потребной точности применения СП

Итерационный алгоритм численного решения нелинейного уравнения

$\frac{\zeta_x}{\sigma_x} = f\left(\hat{W}\sqrt{\bar{G}}, \frac{l_x}{\zeta_x}\right)$  имеет следующий вид

$$t_x = \frac{\sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \left[ \exp\left(-\frac{t_x^2(1-\lambda_x)^2}{2}\right) - \exp\left(-\frac{t_x^2(1+\lambda_x)^2}{2}\right) \right]}{\min\{1, \lambda_x\} \left[ 2\Phi\left(\frac{t_x|1-\lambda_x|}{2}\right) - 1 \right] + (1+\lambda_x) \cdot \left[ \Phi\left(\frac{t_x(1+\lambda_x)}{2}\right) - \Phi\left(\frac{t_x|1-\lambda_x|}{2}\right) \right] - \hat{W}_x\sqrt{\bar{G}}}, \quad (6)$$

где  $t_x = \frac{\zeta_x}{\sigma_x}$  ;  $\lambda_x = \frac{l_x^*}{\zeta_x}$  – безразмерные параметры.

В качестве примера найдем потребный параметр точности применения СП при следующих параметрах:  $\hat{W}=0,75$  ,  $\sqrt{\bar{G}}=0,9$  ,  $\lambda_x=0,75$  . Он составляет  $t_x^*=5,3$  . На рисунке

7 показан график изменения параметра  $t_x$  в процессе реализации итерационного алгоритма (6).

Произведение параметров  $\lambda$ ,  $t$ ,  $\sqrt{G}$  дает показатель  $A = \frac{\bar{G} l_x l_z}{\sigma_x \sigma_z}$ , аналогичный получен-

ному проф. Р.С.Саркисяном и И.Н.Акулиным [1], который интегрально характеризует эффективность СП. Чем выше значение этого показателя, тем более эффективным является СП. Это позволяет осуществлять оптимизацию конструктивных параметров боевых частей ВТО путем максимизации данного показателя.

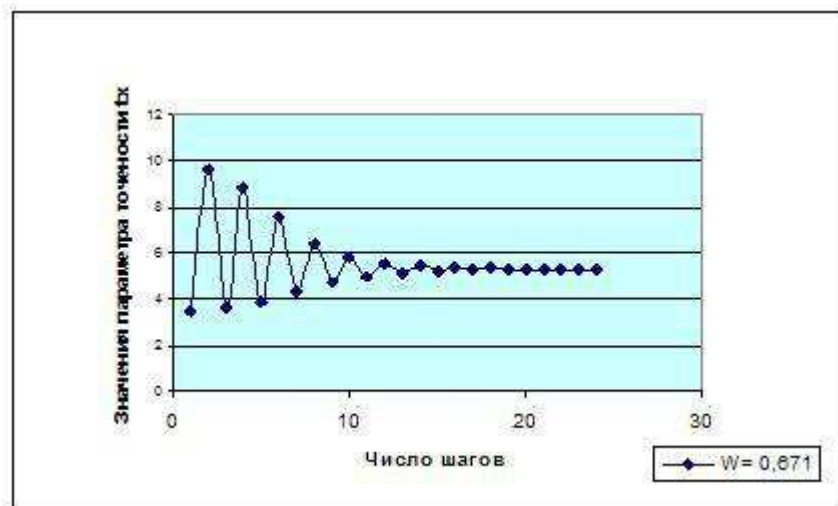


Рисунок 7 – График изменения параметра  $t_x$  при реализации итерационного алгоритма

### Заключение

Рассмотренный подход к оценке эффективности применения средств поражения ВТО по размерным объектам позволяет получить явную зависимость вероятности поражения

цели от основных параметров средств поражения: мощности боевой части и точности наведения на цель. Использование этой зависимости позволяет решать задачу оптимизации конструктивных параметров боевых частей и систем наведения ВТО на цель.

### Список использованных источников

1. Миропольский Ф.П., Саркисян Р.С., Вишняков О.Л., Попов А.М. Авиационные боеприпасы и их исследование / Под ред. Ф.П. Миропольского. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1996.
2. Мильграм Ю.Г., Попов И.С. Боевая эффективность авиационной техники и исследование операций. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1970.
3. Буравлев А.И. Методика оценки вероятности поражения размерных объектов высокоточными средствами поражения // Вооружение и экономика. – 2012. – № 2 (18).
4. Буравлев А.И., Ерохин В.А., Скрынников А.А. К вопросу о понятии эффективной зоны поражения объектов / Материалы Всероссийской научно-технической школы-семинара «Передача, обработка и отображение информации о быстропротекающих процессах». Сочи, октябрь 2009 г. РАН. – М.: РПА «АПР», 2009.