Буравлев А.И., доктор технических наук,
профессор

Методика оценки вероятности поражения размерных объектов высокоточными средствами поражения

В статье рассмотрен методический подход к оценке эффективности поражения объектов высокоточными средствами поражения (СП) с комбинированным поражающим действием. Объекты и зоны поражения представляются прямоугольниками с известными линейными размерами. Эффективность поражения объекта характеризуется относительной долей площади перекрытия зон с учетом прямого попадания СП в цель. Получены аналитические выражения для вероятности поражения объекта высокоточным СП.

Введение

Высокоточные средства поражения (СП) предназначены для избирательного поражения малоразмерных и защищенных объектов путем прямого попадания и поражения цели комбинированным поражающим действием (пробивным, фугасным, осколочным, зажигательным) [1, 2]. Для оценки эффективности применения высокоточных СП необходима методика, позволяющая учесть комбинированное поражающее действие СП. Существующие методы оценки эффективности раздельно учитывают ударное и дистанционное действие СП по различным объектам [3, 4, 5]. Так, например, ударное действие СП характеризуется вероятностью поражения цели и связанным с ней средним необходимым числом СП для ее достоверного поражения. Дистанционное действие (фугасное, осколочное, зажигательное) характеризуется размерами приведенной (эффективной) зоны поражения, при накрытии которой цель поражается с заданной вероятностью. Учет комбинированного действия СП осуществляется через вероятность совместного ударного и дистанционного действия СП. При этом, как правило, предполагается независимость этих действий с точки зрения влияния на результат поражения объекта. В данной статье рассматривается методика оценки вероятности поражения плоского объекта прямоугольной формы в результате прямого попадания СП и накрытия цели прямоугольной зоной поражения. Поражение цели в этом случае будет зависеть как от факта попадания СП, так и от величины площади ее накрытия зоной поражения. При расчете площади перекрытия используется подход, разработанный профессором Мильграмом Ю.Г. (Военно-воздушная инженерная академия имени проф. Н.Е. Жуковского) о вероятностной оценке площади перекрытия прямоугольной зоны цели прямоугольной зоной поражения СП [3].

Постановка задачи

Рассматривается применение высокоточного СП по размерному объекту, представляющему собой прямоугольник с линейными размерами $Ц_X, Ц_Z$, заданными в декартовой системе координат *xЦz* в плоскости стрельбы (рисунок 1), оси которой параллельны главным осям рассеивания. Рассеивание СП относительно точки прицеливания *Ц* (центра цели) является нормальным с нулевыми математическими ожиданиями и среднеквадратическими отклонениями (СКО) σ_X, σ_Z. Мощность боевой части СП характеризуется вероятностью пробивания преграды цели *G* и размерами прямоугольной приведенной зоны поражения (ПЗП) с линейными размерами l_X, l_Z.

При попадании СП в цель зона поражения перекрывает определенную область цели, площадь которой $S_П$ характеризует величину ущерба, наносимого объекту. Эта площадь

определяется размерами перекрытий V_X, V_Z линейных размеров цели, которые рассчитываются по формулам, полученным в [1]:

$$S_П = V_X V_Z , \quad (1)$$

$$V_X = \frac{Ц_X + l_X}{2} - |X| \; ; \; V_Z = \frac{Ц_Z + l_Z}{2} - |Z| , \quad (2)$$

где $|X|, |Z|$ – абсолютные значения промаха СП $\vec{R}$ в системе координат *xЦz*. Перекрытие цели ПЗП будет отлично от нуля, если координаты промаха удовлетворяют неравенствам:

$$|X| < \frac{Ц_X + l_X}{2} \; ; \; |Z| < \frac{Ц_Z + l_Z}{2} .$$

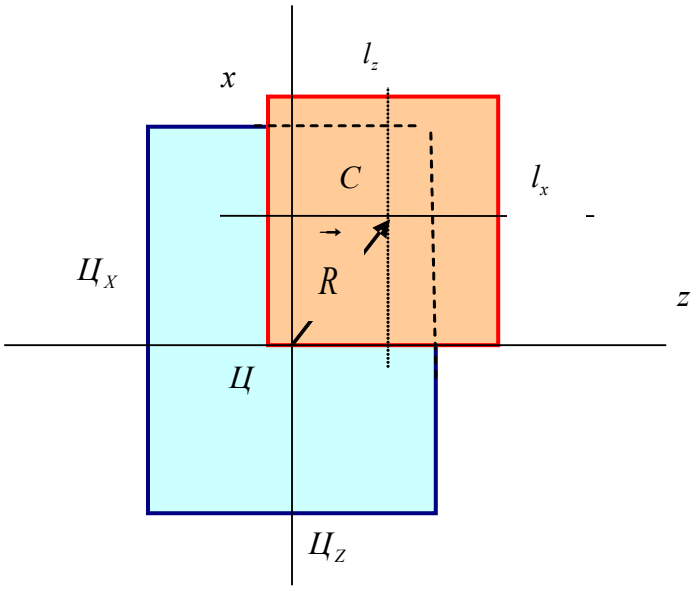

Рисунок 1 – Схема применения высокоточного СП по размерному объекту

Максимальные значения перекрытий ограничены линейными размерами цели и зоны поражения

$$V_X \le min\{Ц_X, l_X\} \; ; \; V_Z \le min\{Ц_Z, l_Z\} . \quad (3)$$

В силу случайности промаха размеры перекрытий V_X, V_Z также являются случайными величинами, а привязка системы координат *xЦz* к главным осям рассеивания СП обеспечивает их независимость.

Найдем среднее значение перекрытий V_X, V_Z при попадании СП непосредственно в цель, которое рассчитывается путем интегрирования выражений (2) по функции распределения промаха

$$\bar{V}_X = \int_{-\frac{Ц_X}{2}}^{\frac{Ц_X}{2}} [A_X - |x|]\phi(x)dx \; ; \; \bar{V}_Z = \int_{-\frac{Ц_Z}{2}}^{\frac{Ц_Z}{2}} [A_Z - |z|]\phi(z)dz \quad (4)$$

Здесь обозначены $A_X = Ц_X + \frac{l_X}{2}$; $A_Z = Ц_Z + \frac{l_Z}{2}$; $\phi(x), \phi(z)$ – нормальные плотности вероятностей значений промаха в координатах *x, z*.

Для независимых случайных величин V_X, V_Z среднее значение площади перекрытия цели приведенной зоной поражения будет равно произведению средних линейных перекрытий $\bar{S}_П = \bar{V}_X \bar{V}_Z$.

Отношение средней площади перекрытия $\bar{S}_П$ к площади цели $S_Ц = Ц_X Ц_Z$ с учетом вероятности пробивания преграды *G* характеризует долю ущерба, наносимого объекту при огневом воздействии.

$$W = \frac{G\bar{S}_П}{S_Ц} . \quad (5)$$

Отсюда возникает задача расчета средних значений линейных перекрытий по формулам (2), (3).

Методика расчета средних линейных перекрытий

Преобразуем интеграл $\bar{V}_X$ к виду

$$\bar{V}_X = \int_{-\frac{Ц_x}{2}}^{\frac{Ц_x}{2}} [A_X - |x|]\phi(x)dx = A_X P_X - 2\int_0^{\frac{Ц_x}{2}} x\phi(x)dx,$$

где $P_X = \int_{-\frac{Ц_x}{2}}^{\frac{Ц_x}{2}} \phi(x)dx = 2\Phi\left(\frac{Ц_X}{2\sigma_X}\right) - 1$ – вероятность попадания координаты X в линейный размер цели $\left[-\frac{Ц_X}{2}, \frac{Ц_X}{2}\right]$;

$\Phi(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{u^2}{2}} du$ – табличная функция нормального распределения (функция Лапласа).

Интеграл $B_X = 2\int_0^{\frac{Ц_x}{2}} x\phi(x)dx$ берем по частям:

$$B_X = 2\int_0^{\frac{Ц_x}{2}} x\phi(x)dx = Ц_X\Phi\left(\frac{Ц_X}{2\sigma_X}\right) - 2\int_0^{\frac{Ц_x}{2}} \Phi(x)dx. \quad (6)$$

Заменим функцию нормального распределения $\Phi(x)$ функцией логистического распределения $\Psi(x) = \frac{1}{1+\exp(-dx)}$ с параметром $d = 1{,}7$, которая при всех возможных значениях аргумента $(-\infty \le x \le \infty)$ дает погрешность оценки функции нормального распределения не более 1% [6].

Используем логистическую функцию $\Psi(x)$ для расчета интеграла

$$2\int_0^{\frac{Ц_x}{2}} \Phi(x)dx \simeq 2\int_0^{\frac{Ц_x}{2}} \frac{2dx}{1+\exp\left(-1{,}7\frac{x}{\sigma_X}\right)} = 2\frac{\sigma_X}{1{,}7}\ln\left[\frac{1+\exp\left(-0{,}85\frac{Ц_X}{\sigma_X}\right)}{2\exp\left(-0{,}85\frac{Ц_X}{\sigma_X}\right)}\right]$$

Полученный результат для удобства выразим через функцию Лапласа

$$2\int_0^{\frac{Ц_x}{2}} \Phi(x)dx \simeq \frac{2\sigma_X}{1{,}7}\ln\left[\frac{0{,}5}{1-\Phi\left(\frac{Ц_X}{2\sigma_X}\right)}\right].$$

В итоге получаем следующее выражение для среднего значения линейного перекрытия

$$\bar{V}_X = A_X P_X - B_X, \quad (7)$$

где $B_X = \frac{Ц_X}{2}(1+P_X) + 1{,}18\sigma_X \ln(1-P_X)$;

$P_X = 2\Phi\left(\frac{Ц_X}{2\sigma_X}\right) - 1$.

Аналогичным образом получаем выражение для величины $\bar{V}_Z$:

$$\bar{V}_Z = A_Z P_Z - B_Z,$$

где $B_Z = \frac{Ц_Z}{2}(1+P_Z) + 1{,}18\sigma_Z \ln(1-P_Z)$;

$P_Z = 2\Phi\left(\frac{Ц_Z}{2\sigma_Z}\right) - 1$.

С учетом ограничения (3) выражение для среднего значения линейного перекрытия будет иметь следующий вид:

$$\bar{V} = min\{AP - B; l; Ц\}. \quad (8)$$

Площадь перекрытия цели зоной поражения СП составит $\bar{S}_П = \bar{V}_X \bar{V}_Z$, а доля относительного ущерба, нанесенного цели с учетом проникания СП, будет равна

$$W = \frac{G\bar{S}_П}{S_Ц} = \frac{G\bar{V}_X\bar{V}_Z}{Ц_X Ц_Z}. \quad (9)$$

Величину относительного ущерба W можно интерпретировать как вероятность поражения цели СП комбинированного действия.

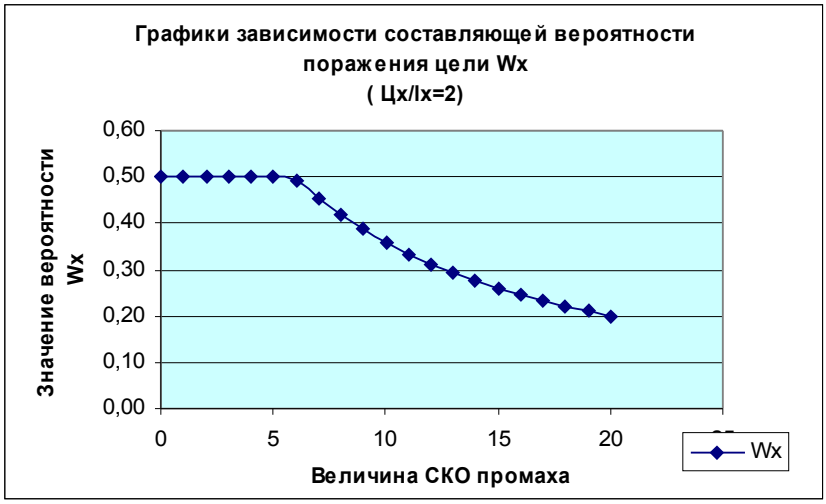

Рисунок 2 – График зависимости W_X от величины СКО σ_X при соотношении $\frac{Ц_X}{\sigma_X}=2$

На рисунках 2, 3, 4 приведены графики зависимости вероятностей $W_X=\frac{\bar{V}_X}{Ц_X}$, $W_Z=\frac{\bar{V}_Z}{Ц_Z}$, $W=W_X W_Z$, рассчитанные по изложенной выше методике для разных соотношений линейных размеров цели и приведенной зоны поражения СП в зависимости от величины СКО промаха СП σ.

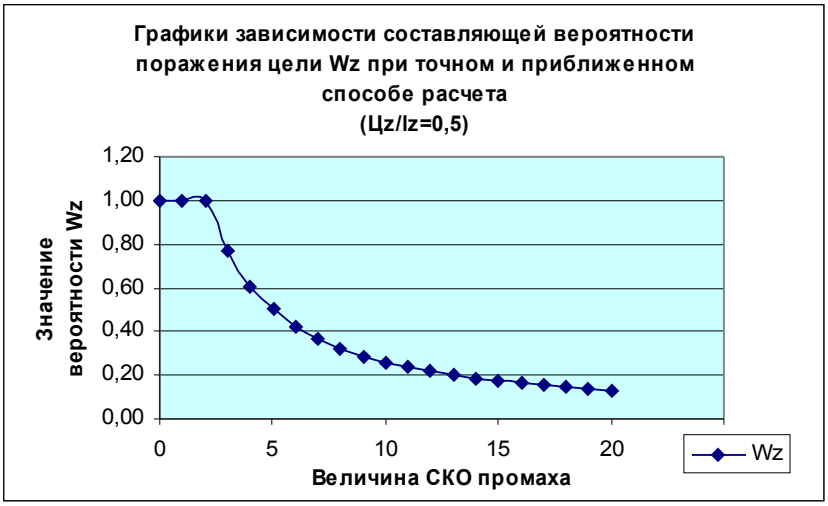

Рисунок 3 – График зависимости W_Z от величины СКО σ_Z при соотношении $\frac{Ц_Z}{\sigma_Z}=0{,}5$

Исследования, проведенные по оценке точности разработанной выше методики, показывают, что она вполне пригодна для получения прогнозных оценок по эффективности применения ВТО с боевыми частями комбинированного действия. По точности она не уступает методике расчетов, изложенных в [3], но является более простой для практического применения. Аналитический характер зависимости вероятности поражения объекта

от его размеров, размеров приведенной зоны поражения и характеристик точности СП позволяет без особого труда использовать данную методику при разработке программного обеспечения автоматизированных систем поддержки решений.

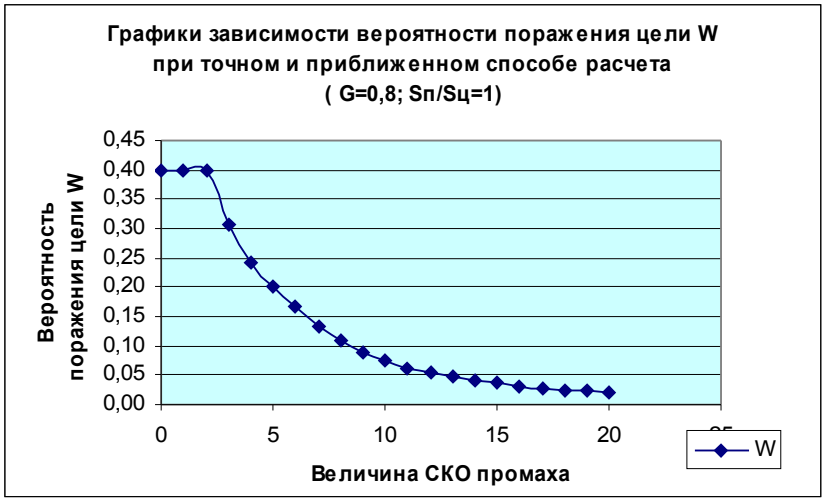

Рисунок 4 – График зависимости *W* от величины СКО σ при соотношении $\frac{S_п}{S_ц}=1$; *G=0,8*

Заключение

Разработанная методика позволяет проводить расчеты по оценке вероятности поражения объектов прямоугольной формы высокоточными СП с прямоугольной зоной поражения с учетом их комбинированного поражающего действия. Методика является дальнейшим развитием научно-методического аппарата по оценке эффективности применения высокоточного оружия по войсковым и военно-промышленным объектам.

Список использованных источников

1. Сухорутченко В.В., Зельвин А.Б., Соболевский В.А. Направления исследования боевых возможностей высокоточного оружия большой дальности в обычном снаряжении // Военная мысль. – 2009. – № 8.

2. Буравлев А.И. К вопросу о критерии определения высокоточного оружия // Вооружение и экономика. – 2011. – № 4 (16).

3. Мильграм Ю.Г., Ерохин В.А. Основы единой зонной методики оценки эффективности авиационных средств поражения по наземным (морским) объектам – М.: ВВИА имени проф. Н.Е.Жуковского, 1985.

4. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии. Военно-теоретический труд / Под ред. А.А. Бобрикова. Академия военных наук. – СПб, 2006.

5. Буравлев А.И., Буренок В.М., Брезгин В.С. Методы оценки эффективности вооружения и военной техники / Под ред. В.М. Буренка. – СПб: ВАТТ, 2011.

6. Кендалл М., Стьюарт А. Теория распределений. Перевод с англ. – М.: Наука, 1966.