

УДК 623.4

А.И. БУРАВЛЕВ, доктор
технических наук, профессор
К.В. ГОЛУБЯТНИКОВ

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ КРИТИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА ГРУППОВОЙ ЦЕЛИ ПРИ НЕИЗВЕСТНОМ ЕГО РАСПОЛОЖЕНИИ

В статье рассмотрена задача оценки ущерба, наносимого сложному групповому объекту при условии отсутствия данных о точном расположении его критических элементов. Показано существование оптимального соотношения зависимости между точностью стрельбы, включающую точность наведения средств поражения и точность определения координат цели, и эффективностью поражения, и стоимостью боекомплекта.

Ключевые слова: ущерб; критических элемент; точность, вероятность поражения.

Современные оперативно-стратегические и инфраструктурные цели представляют собой групповые объекты, состоящие из некоторой совокупности одиночных объектов (целей), размещенных на определенной площади. Некоторые из одиночных объектов (элементов) являются критическими, поражение которых приводит к поражению всего группового объекта. Таковыми элементами являются электростанции и энерго-распределительные установки, распределительные системы подачи воды и газа, системы управления транспортными сетями, радиолокационные системы обнаружения и целеуказания и др. Если координаты группового объекта могут быть известны с высокой точностью, то расположение критических элементов может быть неизвестно, особенно, если противник применяет средства маскировки и создает ложные цели для снижения возможных потерь.

Применение высокоточного оружия (ВТО) дает значительный эффект, если точно известно расположение критических элементов [1]. В этом случае по ним применяются высокоточные средства поражения (снаряд, ракета, управляемая бомба), что приводит к поражению всей групповой цели.

Рассмотрим задачу оценки эффективности стрельбы для случая, когда положение критических элементов неизвестно. В этом случае критический элемент находится на площади размещения групповой цели.

Групповой и составляющие ее одиночные цели будем полагать прямоугольниками или фигурами, составленными из прямоугольников.

Обозначим размеры групповой цели в системе координат, связанной со средством поражения (СП), Π_x, Π_z , а размеры критического элемента Π_3, Π_3 . На рисунке 2 приведена векторная схема стрельбы по одиночному критическому элементу в составе групповой цели.

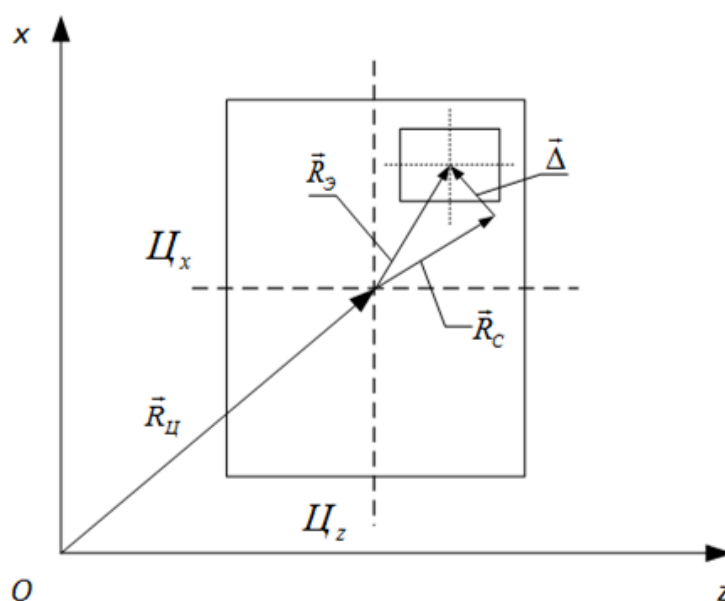


Рисунок 1 – Схема стрельбы по одиночному критическому элементу в составе групповой цели

При известном положении групповой цели \vec{R}_G , положение критической цели относительно центра групповой цели задается вектором \vec{R}_3 , положение точки падения снаряда – вектором \vec{R}_C . Вектор промаха $\vec{\Delta}$ определяется следующим равенством [2]

$$\vec{\Delta} = \vec{R}_3 - \vec{R}_C, \tag{1}$$

из которого следует равенство для проекций векторов на оси системы координат OXZ: $\Delta_x = X_3 - X_C$; $\Delta_z = Z_3 - Z_C$.

Координаты точки попадания снаряда X_c, X_z , как известно¹ [3], являются случайными нормально распределенными величинами с нулевым математическим ожиданием. Координаты центра критической цели, как указывалось выше, могут быть достоверно неизвестны. Поэтому мы принимаем их случайными величинами, равномерно распределенными на площади групповой цели. Их плотности распределения вероятностей имеют вид:

$$f_x(x) = \frac{1}{\Pi_x}; f_z(z) = \frac{1}{\Pi_z}; (X_3, Z_3) \in \Pi.$$

Координаты положения снаряда и элементарной цели являются независимыми. В этом случае плотности распределения вероятностей координат промаха являются композицией распределений координат элементарной цели и точки попадания снаряда:

$$\begin{aligned} f_{\Delta}(\Delta x) &= f_3(x_3) \cdot f_c(x_c) = \int_{-\Pi_x/2}^{\Pi_x/2} f_3(x_3) \cdot f_c(x_3 - \Delta x) dx_3 = \\ &= \frac{1}{\Pi_x} \int_{-\Pi_x/2}^{\Pi_x/2} \frac{1}{\sigma_{X_c} \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x_3 - \Delta x)^2}{2\sigma_{X_c}^2}\right) dx_3 = \frac{1}{\Pi_x} \left[\Phi_c\left(\frac{\Pi_x/2 - \Delta x}{\sigma_{X_c}}\right) - \Phi_c\left(\frac{-\Pi_x/2 - \Delta x}{\sigma_{X_c}}\right) \right] = \\ &= \frac{1}{\Pi_x} \left[\Phi_0\left(\frac{\Pi_x/2 - \Delta x}{\sigma_{X_c}}\right) + \Phi_0\left(\frac{\Pi_x/2 + \Delta x}{\sigma_{X_c}}\right) \right] \end{aligned} \quad (2)$$

где $\Phi_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp(-\frac{t^2}{2}) dt$ - функция Лапласа (интеграл вероятностей).

Аналогичное выражение имеет место и для плотности распределения $f_{\Delta}(\Delta z)$.

На рисунке 2 показаны графики плотности распределения вероятности промаха $f_{\Delta}(\Delta x)$ в зависимости от точности стрельбы σ_{X_c} .

Как и следовало ожидать, максимум плотности распределения достигается при нулевом промахе.

Вероятность попадания снаряда в критическую цель находим по формуле:

$$W_3 = \int_{-\Pi_{X_3}/2}^{\Pi_{X_3}/2} \int_{-\Pi_{Z_3}/2}^{\Pi_{Z_3}/2} f_{\Delta}(x_{\Delta}) \cdot f_{\Delta}(z_{\Delta}) d\Delta x d\Delta z = W_{X_3} W_{Z_3}.$$

¹ Буравлев А.И., Волков С.В., Монсик В.Б., Попов И.С., Сибякин А.А. Боевое применение и эффективность комплексов авиационного вооружения: учебник. М.: ВВИА имени проф. Н.Е. Жуковского, 1992. – 238 с.

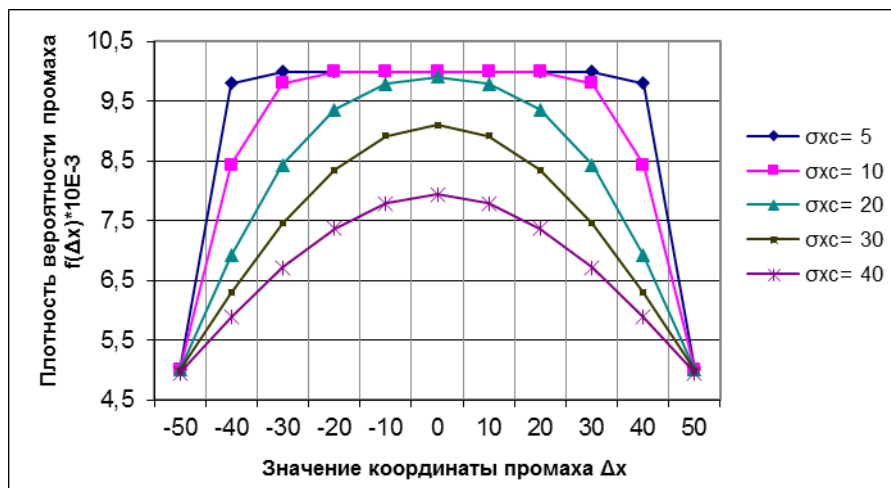


Рисунок 2 – Плотности распределения вероятностей промаха снаряда в зависимости от точности стрельбы

Компоненты вероятности W_3 рассчитываются численным методом по формулам:

$$W_{X_3} = \int_{-Ц_{X_3}/2}^{Ц_{X_3}/2} f_{\Delta}(\Delta x) d\Delta x = \frac{1}{Ц_x} \int_{-Ц_{X_3}/2}^{Ц_{X_3}/2} \left[\Phi_0\left(\frac{Ц_x/2 - \Delta x}{\sigma_{xc}}\right) + \Phi_0\left(\frac{Ц_x/2 + \Delta x}{\sigma_{xc}}\right) \right] d\Delta x \approx \frac{Ц_{X_3}}{Ц_x} 2\Phi_0\left(\frac{Ц_x}{2\sigma_{xc}}\right);$$

$$W_{Z_3} = \int_{-Ц_{Z_3}/2}^{Ц_{Z_3}/2} f_{\Delta}(\Delta z) d\Delta z = \frac{1}{Ц_z} \int_{-Ц_{Z_3}/2}^{Ц_{Z_3}/2} \left[\Phi_0\left(\frac{Ц_z/2 - \Delta z}{\sigma_{zc}}\right) + \Phi_0\left(\frac{Ц_z/2 + \Delta z}{\sigma_{zc}}\right) \right] d\Delta z \approx \frac{Ц_{Z_3}}{Ц_z} 2\Phi_0\left(\frac{Ц_z}{2\sigma_{zc}}\right). \quad (3)$$

При расчете вместо функции Лапласа удобно использовать приближенную аналитическую зависимость² вида:

$$\Phi_0(x) \approx \frac{\sqrt{1 - \exp\left(-\frac{2}{\pi}x^2\right)}}{2}, \quad (4)$$

обеспечивающую относительную погрешность аппроксимации функции Лапласа не более 1%.

Как видно из формул (3), расчет вероятности попадания снаряда возможен, если известны размеры критической цели или её площадь.

² Справочник по специальным функциям / Под ред. М. Абрамовица и И.М. Стиган. М.: Наука, 1979.

На рис. 3 показана зависимость вероятности поражения критической цели от точности стрельбы, представляемой среднеквадратическим отклонением области рассеивания средства поражения.

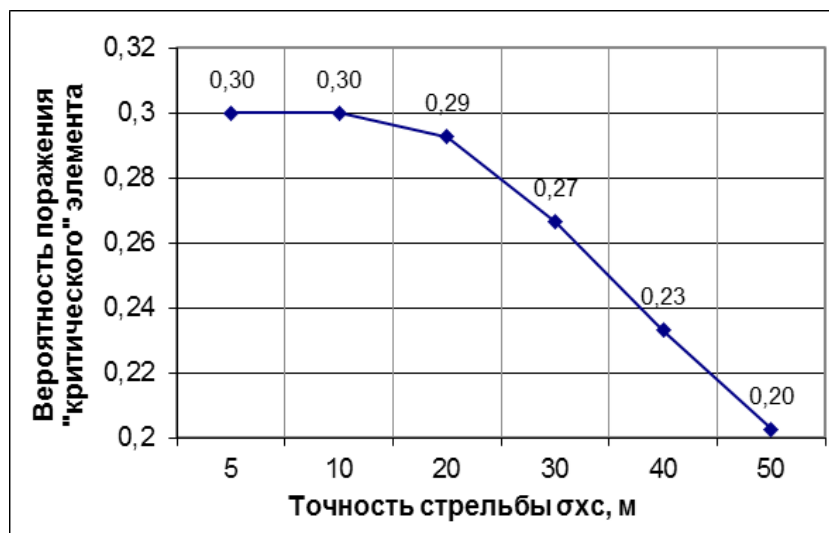


Рисунок 3 – Зависимость вероятности поражения критической цели от точности стрельбы

Из рисунка видно, что с уменьшением точности стрельбы эффективность поражения снижается. Однако эта зависимость является достаточно слабой в широком диапазоне изменения точности стрельбы σ_c . В целом же неопределенность положения критической цели резко снижает эффективность стрельбы. Поэтому при планировании применения средств поражения, особенно средств ВТО, необходимо иметь точную информацию о структуре группового объекта, составе и расположении его критических элементов.

С увеличением точности стрельбы значительно снижается потребный наряд снарядов для гарантированного поражения цели, но одновременно повышается стоимость выстрела [4]. Потребный наряд для поражения одиночной цели определяется по известной формуле:

$$N = \frac{\lg(1-W_{\Gamma})}{\lg(1-W_3)}, \quad (5)$$

где W_{Γ} – гарантийная вероятность поражения цели. В практических расчетах принимается $W_{\Gamma} = 0,8$ для обычных и $W_{\Gamma} = 0,95$ для особо важных (критических) целей [3].

Стоимость выстрела от точности стрельбы в первом приближении можно описать степенной зависимостью следующего вида:

$$C_1 = A\sigma^{-\alpha}, \quad (6)$$

параметры которой A , α определяются по статистическим данным для известных снарядов различного назначения. На рисунке 4 показана такая зависимость с параметрами $A=25$, $\alpha=0,3$.

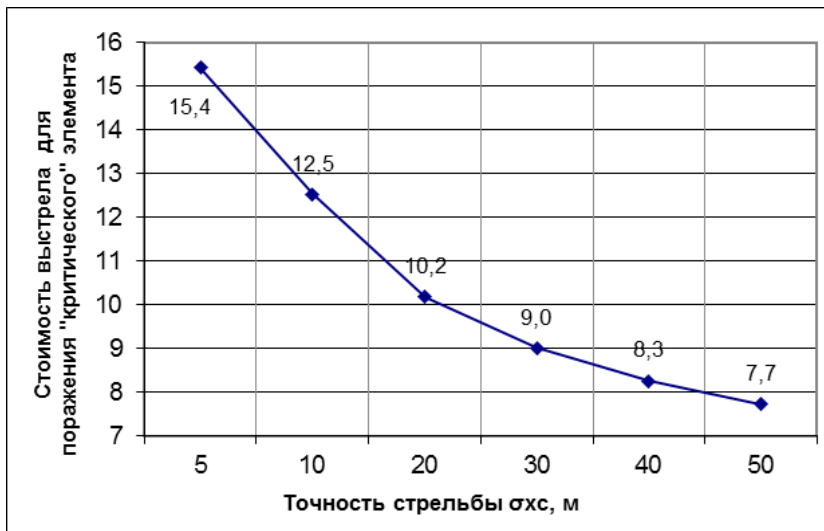


Рисунок 4 – Зависимость стоимости выстрела от точности выстрела

Оценим стоимость боекомплекта снарядов, потребного для поражения цели с заданной гарантированной вероятностью:

$$C(N) = C_1 N, \tag{7}$$

где C_1, N определяются по формулам (5), (6).

Исследования показывают, что стоимость боекомплекта $C(N)$ имеет явный минимум по точности стрельбы σ_c (рисунок 5).



Рисунок 5 – Зависимость стоимости боекомплекта снарядов от точности стрельбы

Таким образом, между точностью стрельбы, эффективностью поражения и стоимостью боекомплекта существует оптимальное соотношение, что приводит к необходимости планирования применения средств поражения по объектам противника. В первую очередь необходимо иметь полную информацию об объектах поражения, их критических элементах, координатах их положения [5]. Следующим шагом является расчет потребных нарядов для поражения объектов и стоимость боекомплектов. Применение высокоточных и дорогостоящих средств поражения должно быть оправдано высокой эффективностью поражения и небольшими нарядами (1-2 снаряда) по «критическим» элементам. При отсутствии достоверной информации об объектах поражения планирование применения ВТО расточительно с военно-экономической точки зрения. В этом случае более оправдано применение неуправляемых средств поражения с более низкой стоимостью боекомплекта. Опыт применения ВТО в локальных войнах подтверждает эти выводы [3].

Приведенный в статье методический аппарат может быть использован при разработке требований к системе исходных данных, используемых при планировании применения оружия, подготовки предложений и рекомендаций при разработке номенклатуры средств поражения для включения в государственную программу вооружений, требований к исходным данным по объектам (целям) иностранных государств.

Список используемых источников

1. Горбунов В.А. Эффективность обнаружения целей. М.: Воениздат, 1979.
2. Буравлев А.И., Брезгин В.С. Методы оценки эффективности применения высокоточного оружия. М.: ИД Академия Жуковского, 2018. – 232 с.
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. Макнаб К., Китер Х., Оружие уничтожения XXI века. М.: ЭКСМО, 2009. – 463 с.