

Буравлев А.И.

Доктор технических наук, профессор

К вопросу о критерии определения высокоточного оружия

В статье проведен анализ существующих критериев определения высокоточного оружия (ВТО) и показана их недостаточная обоснованность и адекватность содержательному смыслу ВТО. Предложен новый критерий определения ВТО, количественно учитывающий соотношение между размерами цели, ее зоны поражения и характеристиками рассеивания средств поражения.

Термин *высокоточное оружие* (ВТО) появился в конце 70-х годов прошлого века для обозначения средств поражения (СП), обладающих *повышенной* точностью боевого применения и, тем самым, обеспечивающих эффективное поражение важных *малоразмерных* и *высокозащищенных* объектов. К высокоточному оружию в первую очередь стали относить управляемые СП (ракеты «воздух-воздух», «воздух-поверхность», управляемые бомбы, кассетное оружие с самонаводящимися боевыми элементами), для которых характерно *прямое* попадание в цель. В начале 90-х годов в США была реализована программа JДAM, направленная на повышение точностных характеристик и эффективности применения *неуправляемых* СП, в первую очередь, авиабомб. После этого в класс ВТО стали включать и *неуправляемые* СП, обладающие повышенной точностью боевого применения. Возникает вопрос, а каков критерий отнесения того или иного оружия к классу ВТО?

В научно-популярной литературе описано несколько критериев определения ВТО [1, ..., 6], обладающих определенной схожестью, но и существенными различиями. Наиболее распространенным критерием ВТО является достижение вероятности попадания СП в типовой объект на уровне не менее 0,5 для любой дальности стрельбы [1, 2, 3]. В работах [4, 5] в качестве критерия ВТО предлагается использовать вероятность поражения цели на уровне не менее 0,95. При этом вероятность поражения цели W предлагается рассчитывать по формуле [5]

$$W = \min \left\{ 1, \frac{S_n}{S_p} \right\} \geq 0,95, \quad (1)$$

где S_n - площадь приведенной зоны поражения, а S_p - площадь приведенной зоны рассеивания СП.

Рассмотрим оба подхода с точки зрения теории боевой эффективности и действующих практических руководств по планированию боевого применения различных видов оружия.

Критерий первого типа, задающий вероятность попадания СП в типовой объект на уровне 0,5 и выше, не удовлетворяет требованиям существующих руководств по боевому применению авиационных и ракетно-артиллерийских комплексов, где для типовых объектов задается гарантийная вероятность поражения на уровне не менее 0,8. В этом случае вероятность попадания СП в зону поражения объекта должна быть, по крайней мере, не ниже 0,8.

Проанализируем критерий ВТО в форме (1). Для его расчета необходимо знать приведенную зону поражения S_n объекта и приведенную зону рассеивания S_p .

Приведенная зона поражения (ПЗП) объекта представляется прямоугольником со сторонами l_x, l_z , параллельными главным осям рассеивания, или кругом радиуса r_n с центром расположения цели. Размеры ПЗП рассчитываются из условия, что попадание СП в ПЗП приводит к поражению объекта с вероятностью единица с заданной степенью (A, B, C, D) [7, 8]. В частности, если известен координатный закон $G(x, z)$ для заданной степени поражения объекта, то площадь ПЗП определяется следующим выражением [7, 8]

$$S_n = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} G(x, z) dx dz = l_x l_z = \pi r_n^2. \quad (2)$$



Размеры и площадь приведенной зоны рассеивания (разлета) S_p СП в теории и в практических руководствах по боевой эффективности определяются для случая залповой и серийной стрельбы. Однако применение залповой (серийной) стрельбы для ВТО маловероятно, поскольку эти режимы применяются, главным образом, для СП с низкими точностными характеристиками. Недостаточная точность применения в этом случае компенсируется увеличением числа СП в залпе. В работе [5], к сожалению, отсутствует количественная оценка приведенной зоны рассеивания (ПЗР) СП.

Если же рассматривать одиночную стрельбу СП, то приведенную зону рассеивания (ПЗР), по аналогии с ПЗП, можно определить как круговую зону, в которую СП попадает с вероятностью близкой к единице при стрельбе (пуске ракет, бомбометании) при заданных характеристиках рассеивания.

В предположении, что рассеивание СП по координатам x, z является нормальным с нулевой систематической ошибкой, распределение радиуса промаха СП $R = \sqrt{X^2 + Z^2}$ относительно центра цели для любого углового положения $\varphi \in (0, 2\pi)$ подчиняется закону Релея с функцией распределения [8]:

$$F(r) = P(R < r) = 1 - \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma_{кр}^2}\right), \quad (3)$$

где $\sigma_{кр}^2 = \sigma_x^2 + \sigma_z^2$ - дисперсия кругового отклонения. При этом величина кругового среднего квадратического отклонения (СКО)

$\sigma_{кр}$ является характеристикой точности боевого применения СП.

Вероятность того, что радиус промаха R превышает заданную величину r , определяется выражением

$$P(R \geq r) = \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma_{кр}^2}\right) = 1 - F(r).$$

Аппроксимируем эту функцию ступенчатой функцией с радиусом круга R_p , в который СП попадает с вероятностью единица (рис. 1).

Радиус R_p ПЗР определим по аналогии с (2) из выражения

$$R_p = \int_0^\infty [1 - F(r)] dr = \sigma_{кр} \sqrt{\frac{\pi}{2}}, \quad (4)$$

он равен среднему значению промаха. Площадь круговой зоны рассеивания при этом составит $S_p = \pi R_p^2$.

Согласно критерию ВТО (1), отношение площадей $\frac{S_n}{S_p}$ должно составлять не менее

0,95. Отсюда получаем соотношение между радиусом поражения и СКО кругового рассеивания СП

$$\frac{r_n}{\sigma_{кр}} \geq \sqrt{\frac{0,95\pi}{2}} \approx 1,22. \quad (5)$$

В работах [2, 3] предполагается, что критерий (1) обеспечивает соотношение между радиусом ПЗП и круговым вероятным отклонением СП $E_{кво}$ не менее чем в два раза.

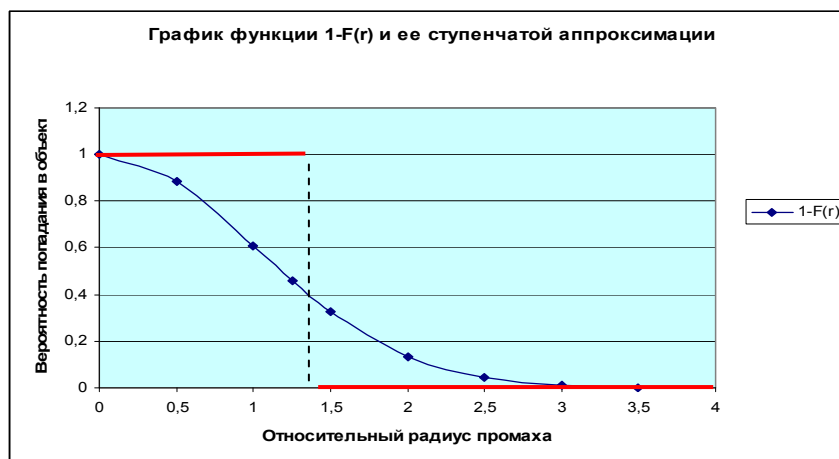


Рисунок 1 – График функции $1 - F(r)$ и ее ступенчатой аппроксимации

Учитывая, что круговое СКО $\sigma_{кр}$ и круговое вероятное отклонение (ВО) $E_{кво}$ связаны соотношением [6]

$$\sigma_{кр} = 0,85E_{кво},$$

из (5) получаем

$$\frac{r_n}{E_{кво}} \geq 1,38,$$

т.е. критерий (1) не обеспечивает предполагаемого соотношения между радиусом ПЗП и круговым вероятным отклонением СП.

Найдем вероятность попадания СП в приведенную зону поражения с радиусом r_n и

СКО кругового рассеивания $\sigma_{кр} \approx \frac{r_n}{1,22}$:

$$W = P(R \leq r_n) = 1 - \exp\left(-\frac{r_n^2}{2\sigma_{кр}^2}\right) = 1 - \exp(-0,746) \approx 0,53.$$

Из полученного выражения видно, что вероятность попадания СП в приведенную зону поражения с данной величиной СКО кругового рассеивания составляет чуть более 0,5, что никак не характеризует повышенную точность применения СП.

Проведенный анализ показывает, что ни один, ни другой из существующих критериев ВТО в полной мере не соответствует содержательному смыслу этого термина.

В связи с этим предлагается другой подход к формированию критерия ВТО. Из определений, приведенных в цитируемых выше работах, можно выделить три характерных признака ВТО:

- применение по малоразмерным целям;
- повышенная точность применения, обеспечивающая прямое попадание СП в цель;
- поражение цели с первого выстрела с вероятностью близкой к единице.

С учетом этих свойств будем рассматривать малоразмерные цели, размеры которых сопоставимы с размерами ПЗП средств поражения тактического назначения в обычном снаряжении, а факт поражения цели возникает в случае прямого попадания СП в цель. При этом радиус зоны поражения СП r_n может быть как больше, так и меньше радиуса круговой цели r_u .

Рассмотрим случай, когда радиус круговой зоны поражения меньше радиуса круговой цели ($r_n \leq r_u$). В этом случае для поражения цели необходимо, чтобы центр круговой ПЗП находился внутри цели (прямое попадание СП) (рис. 2).

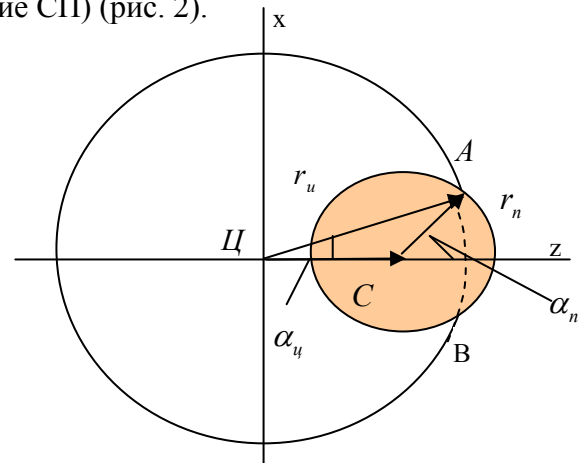


Рисунок 2 - Геометрическая интерпретация схемы поражения цели ВТО при $r_n \leq r_u$

Пересечение круговой цели и круговой ПЗП дает зону поражения внутри цели $S_n(R)$, зависящую от промаха СП $R = |ЦС|$. Величина промаха определяется соотношением

$$R = r_u \cos \alpha_u + r_n \cos \alpha_n, \quad (6)$$

где α_u , α_n - углы, задающие ориентацию радиус-векторов круговой цели и ПЗП. Эти углы по теореме синусов связаны соотношением

$$r_u \sin \alpha_u = r_n \sin \alpha_n. \quad (7)$$

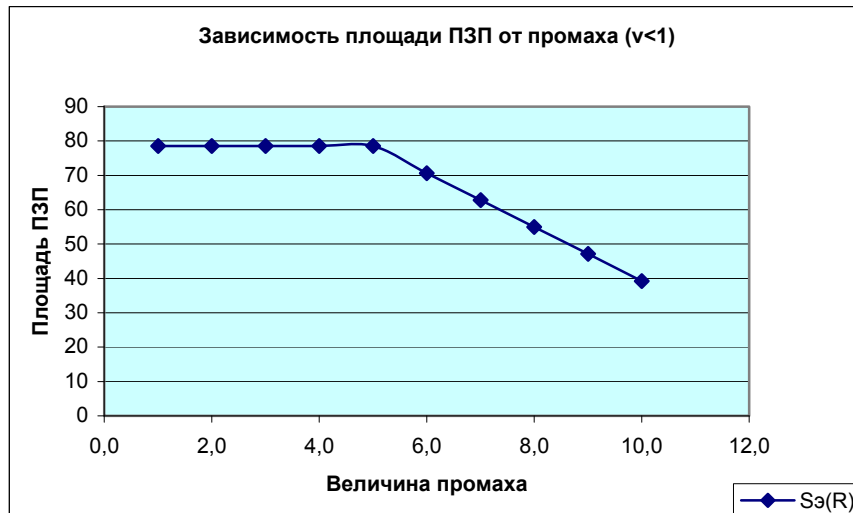
Точное значение площади зоны поражения $S_n(R)$ найти достаточно сложно. Ее приближенную оценку можно получить как площадь эллипса $S_n(R) \approx \pi ab$ (8) с полуосями

$$a = \begin{cases} r_n \sin \alpha_n, & r_u \cos \alpha_u < R \leq r_u \\ r_n, & 0 < R \leq r_u \cos \alpha_u \end{cases};$$

$$b = \begin{cases} r_u + r_n - R, & r_u - r_n \leq R \leq r_u \\ r_n, & 0 \leq R < r_u - r_n \end{cases}.$$

Решение системы нелинейных уравнений (6)...(8) позволяет численно получить зависимость $S_n(R)$. На рис. 3 показан пример такой зависимости для параметров $r_u = 10$ м;

$$v = \frac{r_n}{r_u} = 0,3.$$

Рисунок 3– Зависимость площади ПЗП цели от величины промаха СП ($v < 1$)

Исследование этой зависимости для $0,1 < v < 0,9$ показало, что площадь ПЗП $S_n(R)$ в диапазоне значений промахов $0 < R \leq r_u$ достаточно хорошо описывается кусочно-линейной функцией

$$S_n(R) = \begin{cases} \pi r_n^2, & 0 \leq R < r_u - r_n \\ a_0 + a_1 R, & r_u - r_n < R \leq r_u \end{cases} \quad (9)$$

с параметрами $a_0 = \frac{\pi r_n^2}{2} \left(1 - \frac{r_u}{r_n}\right)$; $a_1 = \frac{\pi r_n}{2}$.

Отсюда получаем условный закон поражения цели СП $G(R) = \frac{S_n(R)}{S_u}$:

$$G(R) = \begin{cases} \frac{r_n^2}{r_u^2}, & 0 \leq R < r_u - r_n \\ \frac{r_n^2}{2r_u^2} \left(\frac{r_n + r_u - R}{r_n} \right), & r_u - r_n < R \leq r_u \end{cases}. \quad (10)$$

Поскольку плотность распределения значений промаха R известна, то нетрудно оценить безусловную вероятность поражения цели в диапазоне промахов $0 \leq R \leq r_u$:

$$W^{(1)} = \int_0^{r_u} G(r) f(r) dr = \int_0^{r_u - r_n} G f(r) dr + \frac{1}{S_u} \int_{r_u - r_n}^{r_u} (a_0 + a_1 r) f(r) dr,$$

где $f(r) = \frac{r^2}{\sigma_{кр}^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma_{кр}^2}\right)$ - плотность распределения промаха СП; $G = \frac{r_n^2}{r_u^2}$

- постоянное значение условной вероятности поражения цели.

Первый интеграл равен $I_1 = \int_0^{r_u - r_n} G f(r) dr = \frac{r_n^2}{r_u^2} \left[1 - \exp\left(-\frac{(r_u - r_n)^2}{2\sigma_{кр}^2}\right) \right]$; второй интеграл равен

сумме интегралов $I_2 = \frac{1}{S_u} \int_{r_u - r_n}^{r_u} a f(r) dr = \frac{r_n^2}{2r_u^2} \left(1 + \frac{r_u}{r_n}\right) \left[\exp\left(-\frac{(r_u - r_n)^2}{2\sigma_{кр}^2}\right) - \exp\left(-\frac{r_u^2}{2\sigma_{кр}^2}\right) \right]$ и

$I_3 = \frac{1}{S_u} \int_{r_u - r_n}^{r_u} brf(r)dr$, при этом интеграл I_3 не выражается аналитически. Для его оценки используем теорему о среднем интеграла

$$I_3 = \frac{1}{S_u} \int_{r_u - r_n}^{r_u} brf(r)dr \approx \frac{r_n^2}{r_u^2} \frac{\bar{r}^2}{2\sigma_{кр}^2} \exp\left(-\frac{\bar{r}^2}{2\sigma_{кр}^2}\right); \bar{r} = r_u - \frac{r_n}{2}.$$

В результате получаем следующее выражение для вероятности поражения цели:

$$W^{(1)} \approx v^2 \left(1 - \exp\left(-\frac{r_u^2 (1-v)^2}{2\sigma_{кр}^2}\right) \right) + \frac{v^2}{2} \left(1 + \frac{1}{v} \right) \left[\exp\left(-\frac{r_u^2 (1-v)^2}{2\sigma_{кр}^2}\right) - \exp\left(-\frac{r_u^2}{2\sigma_{кр}^2}\right) \right] - v^2 \left(1 - \frac{v}{2} \right)^2 \frac{r_u^2}{2\sigma_{кр}^2} \exp\left(-\frac{r_u^2 \left(1 - \frac{v}{2}\right)^2}{2\sigma_{кр}^2}\right). \tag{11}$$

Параметр $v = \frac{r_n}{r_u}$ характеризует мощность СП, а параметр $\frac{r_u}{\sigma_{кр}}$ - точность применения СП.

На рис. 4 приведены графики зависимости $W^{(1)}\left(v; \frac{r_u}{\sigma_{кр}}\right)$, из которых можно увидеть, что при применении СП малой мощности ($v \leq 0,5$) вероятность поражения цели не превышает 0,5. С увеличением мощности СП эта вероятность повышается и при $v \geq 0,9$ достигает уровня не ниже 0,8.

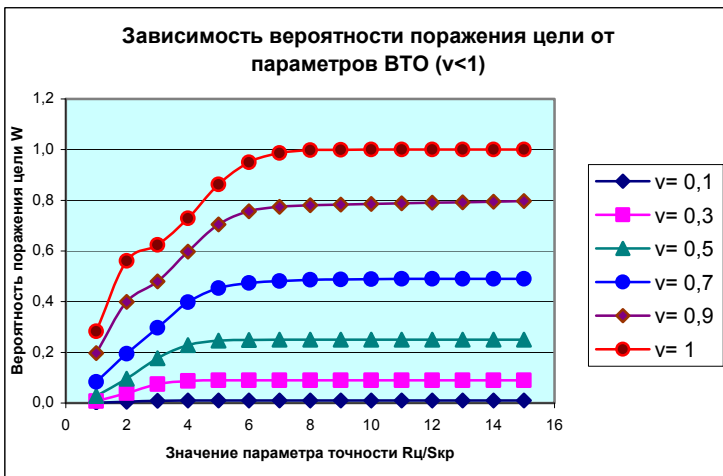


Рисунок 4 – Зависимость вероятности поражения цели от параметров ВТО

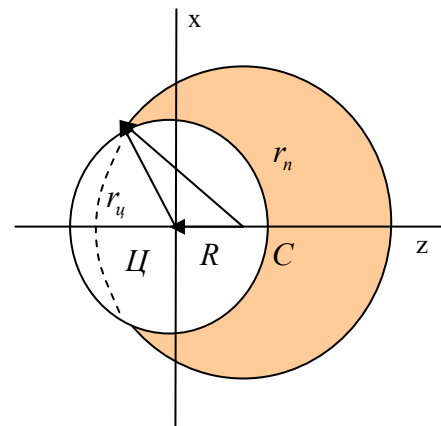


Рисунок 5 – Геометрическая интерпретация схемы поражения цели ВТО при $r_n > r_u$

Рассмотрим второй случай прямого попадания СП в цель при $r_n > r_u$ (рис. 5). В этом случае параметры эллипса ПЗП определяются выражениями:

$$a = r_u \sin \alpha_u; b = \frac{r_u + r_n - R}{2}; 0 \leq R \leq r_u.$$



Площадь ПЗП будет изменяться с уменьшением промаха также по кусочно-линейному закону (рис.6)

$$S_n(R) = \begin{cases} 0, & R \geq r_u + r_n \\ a_0 + a_1 R, & r_n - r_u < R \leq r_u + r_n \\ \pi r_u^2, & 0 \leq R \leq r_n - r_u \end{cases}, \text{ где } a_0 = \frac{\pi r_u^2 \left(1 + \frac{r_n}{r_u}\right)}{2}; a_1 = -\frac{\pi r_u}{2}.$$

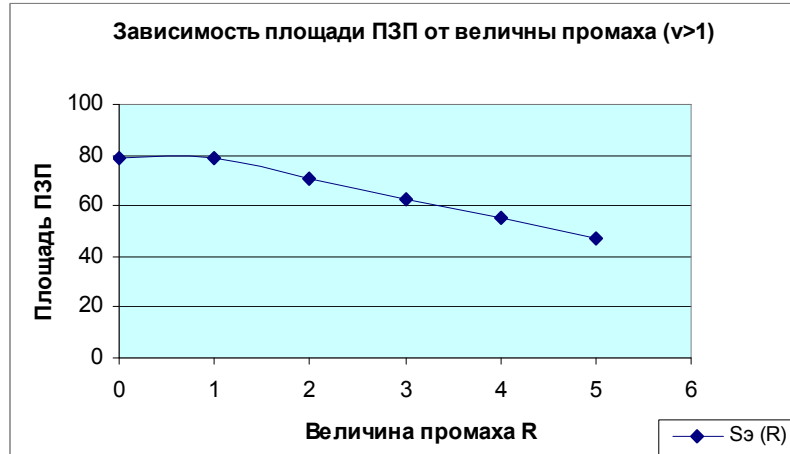


Рисунок 6 – Зависимость площади ПЗП цели от величины промаха СП ($v > 1$)

В этом случае условный закон поражения цели СП $G(R) = \frac{S_n(R)}{S_u}$ принимает вид

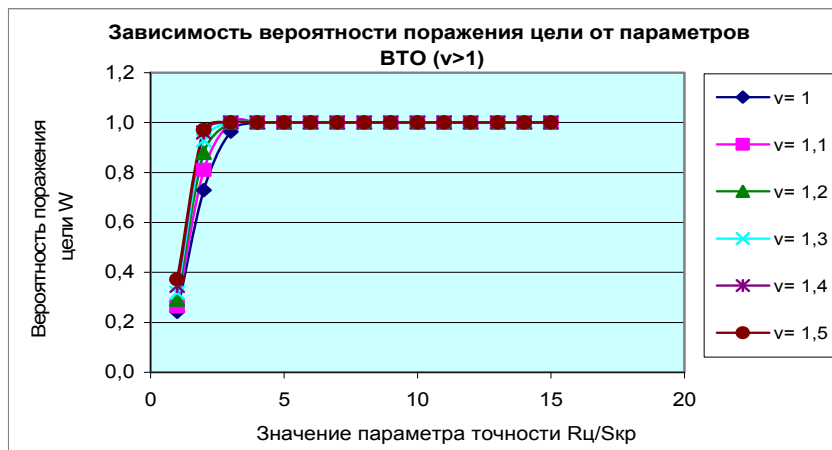
$$G(R) = \begin{cases} \frac{r_u + r_n - R}{2r_u}, & r_n - r_u < R \leq r_u + r_n \\ 1, & 0 \leq R \leq r_n - r_u \end{cases}. \quad (12)$$

Интегрируя условный закон поражения с учетом плотности распределения промаха, получаем безусловную вероятность поражения цели

$$W^{(2)} = \int_0^{r_u} G(r) f(r) dr = \left[1 - \exp\left(-\frac{r_u^2 (v-1)^2}{2\sigma_{кр}^2}\right) \right] + \left(\frac{1+v}{2}\right) \left[\exp\left(-\frac{r_u^2 (v-1)^2}{2\sigma_{кр}^2}\right) - \exp\left(-\frac{r_u^2}{2\sigma_{кр}^2}\right) \right] - \left(1 - \frac{v}{2}\right) \frac{\hat{r}^2}{\sigma_{кр}^2} \exp\left(-\frac{\hat{r}^2}{2\sigma_{кр}^2}\right); \quad \hat{r} = \frac{r_n}{2}. \quad (13)$$

На рис. 7 приведены графики зависимости $W^{(2)}\left(v; \frac{R}{\sigma_{кр}}\right)$, откуда видно, что при значениях

параметра точности $\frac{r_u}{\sigma_{кр}} \geq 2$ вероятность поражения цели превышает уровень 0,8.

Рисунок 7 – Зависимость вероятности поражения цели от параметров ВТО ($v > 1$)

В соответствии с руководствами по боевому применению авиации, ракетных войск и артиллерии в расчетах по огневому поражению используется норма для вероятности гарантированного поражения обычных объектов $W_G = 0,8$, а для особо важных объектов $W_G = 0,95$ [6, 9]. Как показали исследования, для СП малой мощности ($v \leq 0,5$) эта норма достигается только при залповой (серийной) стрельбе. Количество СП в залпе (серии) определяется по формуле [8, 9]

$$n = \frac{\ln(1 - W_G)}{\ln(1 - W)} \quad (14)$$

На рисунке 8 показана зависимость n от параметра ВТО $v = \frac{r_n}{r_y}$ для гарантийной вероятности поражения цели $W_G = 0,8$ при максимальном значении вероятности поражения цели одиночным СП. Из этой зависимости видно, что только при $v \geq 0,7$ достигается приемлемое число СП в залпе ($n = 2 \dots 4$). При этом точность стрельбы должна составлять $\frac{r_y}{\sigma_{кр}} \geq 5$.

В случае применения СП с повышенной мощностью ($v > 1$) гарантийная вероятность поражения цели достигается $W_G = 0,8$ уже при попадании одного СП, при этом параметр точности стрельбы должен составлять $\frac{r_y}{\sigma_{кр}} \geq 2$.

Рисунок 8 – Зависимость потребного числа СП для поражения цели с $W_G = 0,8$ от мощности СП

С учетом проведенного анализа можно предложить следующее определение: ВТО - это оружие, имеющее круговое СКО (ВО) СП в два и более раз меньшее, чем радиус круговой цели, обеспечивающее поражение цели при прямом попадании СП с вероятностью не ниже гарантированной при залповой и одиночной стрельбе.

Количественно критерий ВТО выражается следующими соотношениями:

$$\frac{r_u}{\sigma_{кр}} \geq 2; W(r_u; \sigma_{кр}; r_n) \geq W_r, \quad (15)$$

где $W_r = 0,8$ для обычных объектов, $W_r = 0,95$ для особо важных объектов поражения.

Данный критерий учитывает ВТО как малой (управляемые авиационные ракеты, корректируемые артиллерийские снаряды), так

и большой мощности (например, крылатые ракеты).

Из критерия следует, что размеры цели, точность применения и мощность СП должны быть согласованы между собой. Чем меньше размеры цели и мощность действия СП, тем выше должна быть точность его применения, и наоборот.

Все управляемые СП удовлетворяют данному критерию ВТО. Однако, и некоторые неуправляемые СП, обладающие повышенной точностью боевого применения, дальностью и мощностью действия также могут быть отнесены к ВТО.

Предложенный критерий позволяет более четко классифицировать существующие СП и комплексы, их применяющие, по отношению к точности и эффективности их боевого применения.

Список использованных источников

1. Гладков Д.И. О понятии «высокоточное оружие» // Военная мысль.- 1989. -№8.
2. Война и мир в терминах и определениях / Под ред. Д.О. Рогозина. - М.: 2004.
3. Вопросы безопасности и стратегической стабильности в терминах и определениях / Под ред. академика РАН В.Н. Михайлова. - М.: Институт стратегической стабильности Госкорпорации «Росатом», 2009.
4. Военный энциклопедический словарь.- М.: Воениздат, 2007.
5. Махнин В.Л. Военная наука ВВС: словарь стратегических, оперативно-тактических категорий, понятий и терминов. Учебно-методическое пособие. – М.: Издание ВВИА имени проф. Н.Е. Жуковского, 2008.
6. Махнин В. Л., Бычков В.Г. Понятийный аппарат в предметных областях познания и исследования военного искусства (категории, понятия, термины). Учебное пособие.- М.: Издание ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2011.
7. 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.
8. Буравлев А.И., Волков С.В., Монсик В.Б. и др. Эффективность боевого применения комплексов авиационного вооружения. Учебник.– М.: ВВИА имени проф. Н.Е. Жуковского, 1993.
9. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии. Военно-теоретический труд / Под ред. А.А. Бобрикова. Академия военных наук.- СПб: 2006.

