Научная статья
УДК 355/359

Развитие зонного подхода к оценке эффективности поражения наземных целей боеприпасами

Александр Иванович Буравлев

Аннотация. В статье рассмотрено ряд научных и прикладных задач, связанных с развитием зонного подхода к оценке эффективности поражения наземных и воздушных целей. Первая задача связана с определением условного закона поражения по данным испытаний с применением трехступенчатой кусочно-линейной аппроксимации. Получены аналитические выражения для расчета параметров круговых зон поражения по экспериментальным данным. Вторая задача связана с методикой расчета площадей перекрытия прямоугольных размерных целей круговой зоной поражения боеприпаса. Получены точные и приближенные аналитические выражения для проведения численных расчетов. На основе решения этих задач предложен единый методический подход к оценке эффективности поражения размерных целей боеприпасами как с прямоугольной, так и с круговой зонами поражения. Эти результаты могут быть использованы для создания унифицированного научно-методического аппарата оценки боевой эффективности современных комплексов вооружения.

Ключевые слова: современные боеприпасы; объекты войсковой инфраструктуры; вооружение и военная техника; элементарные цели; зона поражения; геометрическая представимость; теория боевой эффективности

Для цитирования: Буравлев А.И. Развитие зонного подхода к оценке эффективности поражения наземных целей боеприпасами // Вооружение и экономика. 2025. №2(72). С. 25-36.

Original article

Development of a Zone Approach to the Effectiveness Assessment of Ground Target Hitting by Ammunition

Aleksandr I. Buravlev

Abstract. The article discusses a number of scientific and application tasks related to a zone approach development to the effectiveness assessment of ground targets hitting. The first task is to determine the conditional defeat law based on test data with the use of a three-step piecewise linear approximation. Analytical expressions have been obtained for calculation of circular damage zones parameters based on experimental data. The second task is related to the overlap areas calculation methodology of rectangular dimensional targets with a circular ammunition damage zone. Precise and approximate analytical expressions for numerical calculations are obtained. Based on these problems solution, a unified methodological approach is proposed to assess the effectiveness of hitting dimensional targets by ammunition from both rectangular and circular damage zones. These results can be used to create a unified scientific and methodological framework for the combat effectiveness evaluation of modern weapons systems.

Keywords: modern ammunition; military infrastructure facilities; weapons and military equipment; elementary targets; target area; geometric representability; combat effectiveness theory

For citation: Buravlev A.I. Development of a Zone Approach to the Effectiveness Assessment of Ground Target Hitting by Ammunition. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2025;72(2): 25-36. (In Russ.).

1 Об истории вопроса

Объектами действия современных боеприпасов (снарядов, ракет, бомб, гранат и пр.) являются объекты войсковой (вооружение и военная техника, позиции размещения войсковых подразделений, склады боеприпасов и ГСМ и др.) и промышленной инфраструктуры военного и гражданского назначения (здания, сооружения, линии связи, мосты, трубопроводы, энергосети и др.) [1-4].

Каждый такой объект включает в себя некоторую совокупность элементарных целей (ЭЦ) конструктивно, функционально или организационно связанных между собой [2-4]. Элементарная цель представляет собой простейшую цель, имеющую пренебрежимо малые размеры и только два состояния: работоспособное (1) и неработоспособное (0). Поражение ЭЦ состоит в переводе ее в неработоспособное состояние.

© Буравлев А.И., 2025

По количеству элементарных целей и характеру их связей в составе объекта принято различать одиночные, групповые и площадные цели.

Одиночные цели имеют в своем составе хотя бы одну ЭЦ и определенные размеры. Геометрически в плоскости стрельбы они представляются прямоугольниками или кругами. Поражение одиночной цели возникает в случае поражения хотя бы одной ЭЦ в его составе.

Групповые объекты представляют собой совокупность одиночных целей, функционально или организационно связанных между собой. Для поражения группового объекта необходимо поражение хотя бы одной одиночной цели из его состава.

Площадной объект также содержит некоторую совокупность элементарных объектов, количество которых и характер связей между ними не известны (или не наблюдаемы). Известны только предполагаемые границы расположения площадного объекта.

При применении боеприпасов различного назначения по объектам поражения (целям) в результате ударного, фугасного, осколочного и зажигательного действия образуется зона поражения определенных размеров, которая может иметь самые разные геометрические формы в пространстве (сфера, конус, эллипсоид и др.) [1; 5]. В плоскости стрельбы они представляются кругом, эллипсом, овалом или их комбинацией. Центром зоны поражения считается точка разрыва боеприпаса.

Таким образом, для поражения цели необходимо ее накрыть полностью или частично зоной поражения боеприпаса. В силу рассеивания боеприпасов и неоднозначности характера их поражающего действия поражение цели является случайным событием и характеризуется его вероятностью.

В трудах классиков теории боевой эффективности А.Колмогорова, В.Пугачева, Е.Вентцель, Ю.Мильграма, Р.Саркисяна предложена формула и методы расчета вероятности поражения цели[5]:

$$W = \int_{-\frac{Ц_X}{2}}^{\frac{Ц_X}{2}} \int_{-\frac{Ц_Z}{2}}^{\frac{Ц_Z}{2}} \int_0^{Ц_Y} G(x,z,y)\, f(x,z,y) dxdzdy = \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{R_Ц} G(r,\varphi,\theta) |J(r,\varphi,\theta)| f(r,\varphi,\theta) drd\varphi d\theta, \quad (1)$$

где: $Ц_X, Ц_Z, Ц_Y$ – размеры цели в прямоугольной системе координат, $R_Ц(\varphi,\theta)$ – радиус границ цели в полярной системе координат, связанных с целью; $G(x,z,y)$,$G(r,\varphi,\theta)$ – координатные законы поражения (КЗП) цели при попадании боеприпаса в область цели; $f(x,z,y)$,$f(r,\varphi,\theta)$ – плотности распределения координат попадания боеприпаса относительно точки прицеливания.

Прямоугольные координаты (x,z,y) связаны с полярными координатами (r,θ,φ) соотношениями $y = r\sin\theta$; $x = r\cos\theta\cos\varphi$; $z = r\cos\theta\sin\varphi$ и якобианом преобразования $J(r,\varphi,\theta) = \left|\frac{\partial(xyz)}{\partial(r\varphi\theta)}\right|$.

Для вычисления интеграла (1) необходимо в первую очередь определить координатные законы поражения цели $G(x,z,y)$ или $G(r,\varphi,\theta)$, что представляет собой сложную теоретическую и экспериментальную задачу [1; 5; 7]. Их точное определение возможно лишь при детальном моделировании процессов взаимодействия поражающих факторов снаряда с целью, а также путем проведения специальных экспериментов с соответствующей мишенной обстановкой и средствами измерения.

Как отмечалось выше, реальные объекты поражения состоят из элементарных целей, как правило, функционально связанных между собой. Поражение цели в этом случае достигается накрытием размерной цели зоной поражения боеприпаса. Ю.Мильграмом в 1957 году была решена задача о перекрытии прямоугольной цели прямоугольной зоной поражения при условии параллельности их осей симметрии и независимости случайных координат попадания боеприпаса в зону цели [8]. В этом случае координатный закон поражения можно заменить условным законом поражения (УЗП), характеризующим вероятность

[5] *См.*: Попов А.М., Миропольский Ф.П., Вишняков О.Л., Саркисян Р.С. Авиационные боеприпасы и их исследование: учебник. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1996. 527 с.; см. также [1; 5-7].

поражения цели как среднюю долю $\overline{V}(r) = \frac{M[S_{\Pi}(r)]}{S_{Ц}}$ накрытой площади цели зоной поражения с условным законом поражения $G(r, \varphi, R_{\Pi})$, зависящей от радиуса поражения R_{Π} и промаха боеприпаса r относительно точки прицеливания. Данный методологический прием получил название зонный подход в теории эффективности стрельбы (бомбометания).

Для приближенных расчетов Ю.Мильграмом и Р.Саркисяном было предложено представление условного закона поражения в плоскости стрельбы прямоугольным импульсом[6] (рисунок 1):

$$G(r, \varphi, R_{\Pi}) = \overline{G}\mathbf{1}(R_{\Pi} - r);\ 0 < \varphi \leq 2\pi, \qquad (2)$$

где: $\overline{G}$ – среднее значение вероятности поражения ЭЦ в зоне S_{Π}; R_{Π} – средний радиус поражения, который определялся по измеренной в процессе натурных экспериментов площади поражения.

При этом была принята гипотеза, что в этой зоне достигается практически достоверное ($\overline{G} \approx 1$) поражение цели по заданному типу. Такая зона поражения получила название *приведенной зоны поражения* (ПЗП) [5; 7]. Однако эта гипотеза не всегда подтверждалась на практике вследствие применения достаточно грубой аппроксимации ПЗП.

Для решения практических задач Ю.Мильграмом и В.Ерохиным была разработана методика расчетов ПЗП для системы «объект поражения – средство поражения – условия применения» [8], которая легла в основу руководств и учебников по эффективности боевого применения авиационных и других средств поражения (СП).

Однако открытыми оставались два проблемных вопроса:

1) как определять параметры условного закона поражения $\overline{G}$, R_{Π} и тип поражения по экспериментальным данным, если измерению доступна только площадь S_{Π} или радиус R_{Π} поражения;

2) как рассчитать зону накрытия прямоугольной зоны цели не прямоугольной зоной поражения, в том числе, когда плоскость стрельбы (бомбометания) не является параллельной главным осям симметрии зоны цели.

Ответ на первый вопрос был найден следующим образом: для каждого типа поражения необходимо рассчитать потребную ПЗП и обеспечить зарядку летательного аппарата (ЛА) соответствующим типом и количеством боеприпасов. Так и было сделано в последующих руководствах по применению СП.

Рисунок 1 – Аппроксимация условного закона поражения прямоугольным импульсом

[6] *См.*: Попов А.М., Миропольский Ф.П., Вишняков О.Л., Саркисян Р.С. Авиационные боеприпасы и их исследование… *Указ. соч.*; см. также [5; 6].

Ответ на второй вопрос оказался более сложным. Можно круговую зону поражения (2) заменить равновеликим квадратом с незначительной погрешностью расчета, но осуществить расчет ее накрытия при некотором курсовом угле φ захода на цель по принятой методике уже невозможно.

Для авиации этот вопрос является принципиальным, поскольку маневрирование в районе цели не всегда возможно вследствие противодействия противника средствами ПВО атакующему ЛА. Поэтому чаще всего атака цели осуществляется «с ходу» с произвольным курсовым углом (рисунок 2).

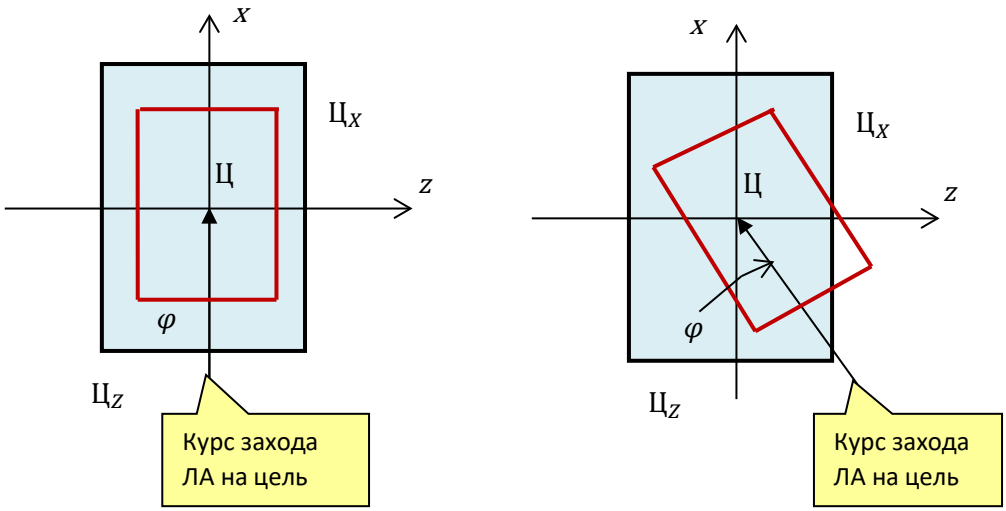


Рисунок 2 – Схема атаки ЛА цели с различным курсом

В этом случае необходимо пересчитывать размеры прямоугольной зоны поражения в проекции на оси прямоугольника цели, причем это должно осуществлять в бортовой системе управления вооружением (СУВ) в реальном времени, что приводит к усложнению СУВ и их программно-математического обеспечения.

Задача упрощается, если зона поражения боеприпаса представляет собой круг. Методика расчета площади накрытия прямоугольной цели круговой зоной поражения рассматривается ниже.

В целях повышения точности расчетов по оценке эффективности поражения целей стали рассматриваться и другие методы аппроксимации законов поражения. Наиболее адекватными физике поражающего действия боеприпасов и требованию простоты математического описания являются комбинированные (кусочно-линейные, кусочно-квадратические, кусочно-релеевские и др.) модели.

2 Кусочно-линейная аппроксимация условного закона поражения цели

На практике в процессе испытаний боеприпасов, а также в ходе практических стрельб на полигонах можно с достаточной точностью определить такие характеристики стрельбы (бомбометания), как:

R_1 – максимальное расстояние (радиус) от точки попадания боеприпаса, при котором достигается достоверное поражение любой элементарной цели при накрытии ее зоной поражения;

$R_{0,5}$ – расстояние, при котором достигается не менее 50% пораженных элементарных целей в зоне накрытия объекта;

R_0 – минимальное расстояние, при котором ни одна элементарная цель объекта достоверно не поражается.

В этих точках вполне обоснованно можно задать уровни условных вероятностей поражения:

$$G(R_1) \geq 0{,}95;\ 0{,}5 \leq G(R_{0,5}) < 0{,}95;\ 0 \leq G(R_{0,5}) < 0{,}5$$

и по этим уровням определить неизвестный условный закон поражения (УЗП) $G(r)$ в некоторой радиальной плоскости. Наиболее простой является трехступенчатая кусочно-линейная аппроксимация, график которой показан на рисунке 3 и представлен формулой (3).

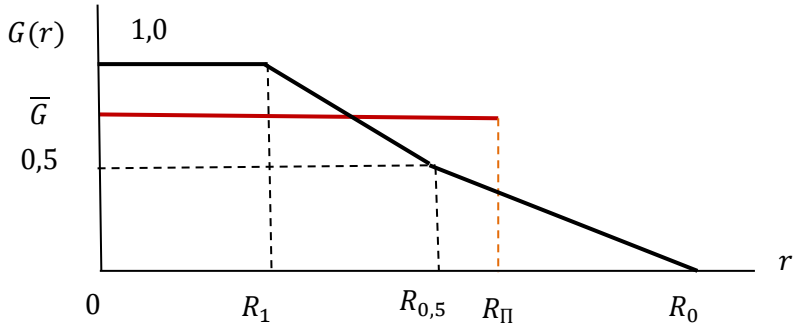


Рисунок 3 – График трехступенчатой кусочно-линейной аппроксимации $G(r)$

$$G(r) = \begin{Bmatrix} 1, & 0 \leq r < R_1 \\ \left(1 - \frac{r - R_1}{2(R_{0,5} - R_1)}\right), & R_1 \leq r < R_{0,5} \\ \frac{R_0 - r}{2(R_0 - R_{0,5})}, & R_{0,5} \leq r < R_0 \\ 0, & r \geq R_0 \end{Bmatrix}. \quad (3)$$

Если радиусы $R_1, R_{0,5}, R_0$ не зависят от полярного угла φ, то данная аппроксимация соответствует круговой зоне поражения. Для проверки этой гипотезы достаточно определить радиусы зоны поражения в двух взаимно перпендикулярных направлениях x, z. На рисунке 4 в качестве иллюстративного примера показана лепестковая диаграмма зоны поражения цели боеприпасом с использованием кусочно-линейной аппроксимации $G(r, \varphi)$, зависящей от направлений стрельбы.

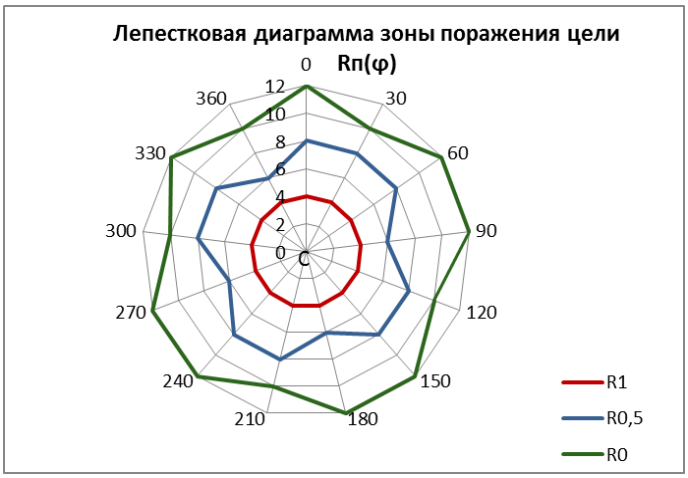


Рисунок 4 – Лепестковая диаграмма зоны поражения в горизонтальной плоскости стрельбы

Из рисунка видно, что полученные зоны могут быть приведены к круговым зонам со средними радиусами $\overline{R} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \overline{R}_i}{n}$, где $\overline{R}_i = \frac{R(\varphi_i + \Delta\varphi) - R(\varphi_i)}{2}$ – средний радиус полярного сектора $\varphi_{i-1} C \varphi_i$.

На размеры и конфигурацию зоны поражения влияет также угол подхода θ снаряда к цели. На рисунке 5 показана примерная схема зоны поражения объекта в горизонтальной плоскости при подходе боеприпаса к цели с углом наклона траектории $\theta^o = 90{,}60{,}30$ град. С уменьшением угла подхода зона поражения уменьшается; для углов $\theta < 30^o$ возможен рикошет боеприпаса или частичное повреждение объекта.

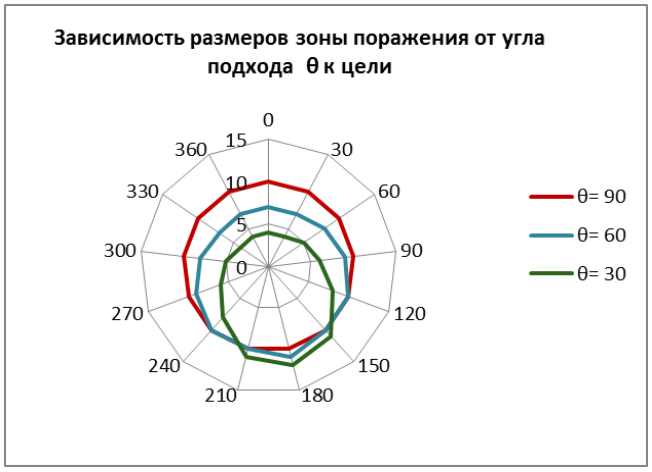


Рисунок 5 – Зависимость размеров зоны поражения от угла подхода боеприпаса к цели

Средняя площадь круговой зоны поражения цели боеприпасом определяется следующим интегралом от условного закона поражения $G(r)$ [5]:

$$\overline{S}_{\Pi} = M[S_{\Pi}] = \int_0^{2\pi} \int_0^{R_0} rG(r)\, dr d\varphi = 2\pi \int_0^{R_0} rG(r)\, dr. \quad (4)$$

После несложных преобразований интеграл (4) для кусочно-линейного УЗП (3) приводится к следующему виду:

$$\overline{S}_{\Pi} = \pi \left[\frac{R_{0,5}^2}{3} + \frac{R_1^2 + R_{0,5}(R_1 + R_0) + R_0^2}{6} \right] = \pi M[R_{\Pi}^2]. \quad (5)$$

Откуда получаем величину среднеквадратического радиуса зоны поражения:

$$\overline{R}_{\Pi} = \sqrt{\frac{S_{\Pi}}{\pi}} = \sqrt{\frac{R_{0,5}^2}{3} + \frac{R_1^2 + R_{0,5}(R_1 + R_0) + R_0^2}{6}}. \quad (6)$$

В этом соотношении в явном виде отсутствует величина $\overline{G}$, характеризующая уровень вероятности поражения (мощность зоны поражения) элементарной цели при накрытии ее зоной поражения. Эту величину можно найти из равенства площади под графиком кусочно-линейного УЗП $G(r)$ и площади прямоугольной УЗП $G(r) = \overline{G}\mathbf{1}(r - R_{\Pi})$:

$$\int_0^{R_0} G(r) dr = \frac{R_1 + 2R_{0,5} + R_0}{4} = \overline{G} R_{\Pi}. \quad (7)$$

Отсюда получаем значение показателя мощности ПЗП $\overline{G}$:

$$\overline{G} = \frac{R_1 + 2R_{0,5} + R_0}{4\overline{R}_{\Pi}}. \quad (8)$$

В этом состоит принципиальное отличие и новизна рассматриваемого подхода в сравнении с классическим зонным подходом, где два параметра приведенной зоны поражения $\overline{G}$ и R_{Π} определяются одним уравнением связи в виде интегралов (4) или (7). Это означает, что

исходная задача не имеет однозначного решения так, как параметры $\overline{G}$, R_{Π} связаны между собой одной зависимостью. Данный факт выступал одним из предметов многолетней дискуссии о правомерности использования ПЗП с применением прямоугольной аппроксимации и допущением $\overline{G} \approx 1$. Эта дискуссия подробно описана в книге В.Власова [6].

В предлагаемом варианте радиус поражения $\overline{R}_{\Pi}$ определяется из средней площади зоны поражения, а условная вероятность поражения $\overline{G}$ как среднее значение аппроксимирующего закона поражения $G(r)$. Это обеспечивает полное согласование указанных параметров с экспериментальными данными. Также из соотношения $M[S_{\Pi}] = M[\pi R_{\Pi}^2] > \pi M[R_{\Pi}]^2$ следует, что среднеквадратический радиус поражения $\overline{R}_{\Pi}$ более полно учитывает стохастическую неопределенность используемого закона поражения, так как содержит его дисперсионную составляющую.

В качестве иллюстрации применения кусочно-линейной аппроксимации УЗП рассмотрим следующий пример.

Пример 1. По результатам испытаний действия боеприпаса по некоторому объекту получены следующие значения радиусов поражения для трех опорных точек: $R_1 = 4$ м; $G(R_1) = 1$; $R_{0,5} = 7$ м; $G(R_{0,5}) = 0{,}5$; $R_0 = 14$ м; $G(R_0) \leq 0{,}05$. По формулам (6), (8) рассчитаны параметры кусочно-линейного УЗП: средняя площадь зоны поражения $\overline{S}_{\Pi} = 228{,}3$ м^2; среднеквадратический радиус круговой зоны поражения $\overline{R}_{\Pi} = 8{,}5$ м; условная вероятность поражения ЭЦ в зоне $\overline{G} = 0{,}94$.

Помимо кусочно-линейной аппроксимации УЗП (3) автором исследованы и другие аппроксимации, в наибольшей степени соответствующие как физике описываемого процесса, так и удовлетворяющие требованию простоты математического описания.

На рисунке 6 приведены графики УЗП с использованием кусочно-релеевской (9) и кусочно-квадратичной (10) аппроксимаций УЗП для трех опорных точек примера 1: $R_1 = 4$ м; $G(R_1) = 1$; $R_{0,5} = 7$ м; $G(R_{0,5}) = 0{,}5$; $R_0 = 14$ м; $G(R_0) \leq 0{,}05$.

$$G_2(r) = \begin{Bmatrix} \overline{G}, & 0 \leq r < R_1 \\ \overline{G}\, exp\left(-\frac{r^2}{2d^2}\right), & r \geq R_1 \end{Bmatrix}, \tag{9}$$

$$G_3(r) = \begin{Bmatrix} \overline{G}, & 0 \leq r < R_1 \\ \overline{G} - ar + br^2, & r \geq R_1 \end{Bmatrix}. \tag{10}$$

Параметры аппроксимаций определялись по минимуму среднего квадратического отклонения значений законов поражения в опорных точках.

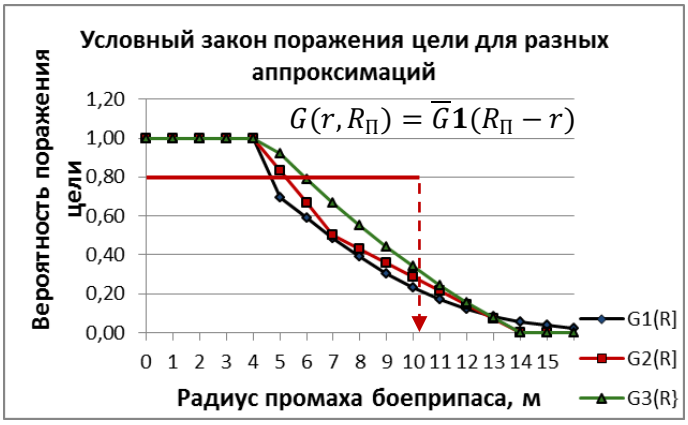


Рисунок 6 – Условный закон поражения для разных аппроксимаций

Как видно из рисунка 6, все эти аппроксимации достаточно близки друг к другу. При этом график кусочно-линейной аппроксимации $G_2(r)$ занимает некоторое промежуточное положение между двумя другими графиками. Для приведенных выше данных средний радиус поражения элементарной цели составляет $R_{П1} = 8{,}3$ м; $R_{П2} = 8{,}5$ м; $R_{П3} = 9{,}3$ м при уровне вероятности поражения элементарной цели $\overline{G} = 0{,}9$.

Средний радиус поражения для трех типов аппроксимаций составляет $\overline{R}_П = 8{,}7$ м, при СКО $\sigma_{R_П} = 0{,}62$ м.

Проведенные расчеты показывают, что для практических задач вполне достаточно использовать кусочно-линейную аппроксимацию условного закона поражения $G(r)$.

3 Методика расчета площади перекрытия прямоугольной зоны цели круговой зоной поражения боеприпаса

В работах [3; 4] приведены аналитические формулы для расчета доли перекрытия прямоугольной зоны цели прямоугольной зоной поражения, а также круговых целей круговой зоной поражения с использованием двухступенчатой (трапециевидной) аппроксимации УЗП. Здесь мы рассмотрим задачу о перекрытии прямоугольной зоны цели круговой зоной поражения и сравним точность ее решения для трехступенчатой кусочно-линейной аппроксимации УЗП в форме (3).

Рассмотрим вначале случай, когда размеры цели превышают радиус зоны поражения, т.е. $R_П < min\left(\frac{Ц_X}{2}, \frac{Ц_Z}{2}\right)$. Для полного накрытия цели зоной поражения необходимо, чтобы промах снаряда удовлетворял условию (рисунок 7 а):

$$R_C \leq min\left(\frac{Ц_X}{2}, \frac{Ц_Z}{2}\right) - R_П. \quad (11)$$

Для частичного накрытия цели зоной поражения необходимо выполнение условия (рисунок 7 б):

$$min\left(\frac{Ц_X}{2}, \frac{Ц_Z}{2}\right) < R_C < max\left(\frac{Ц_X}{2}, \frac{Ц_Z}{2}\right). \quad (12)$$

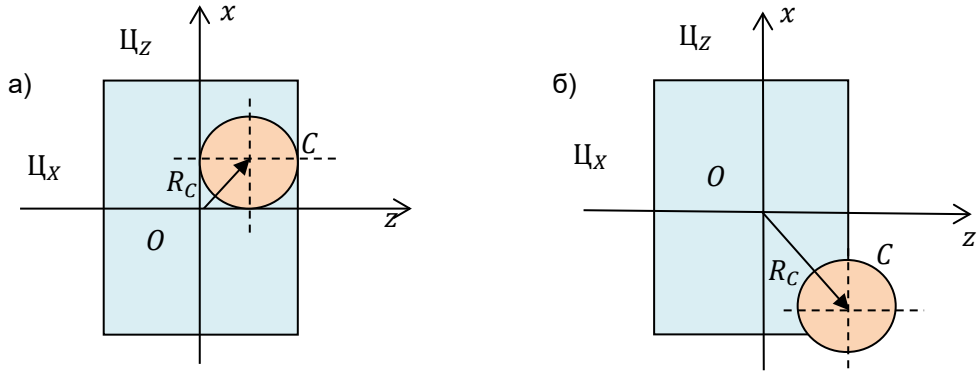


Рисунок 7 – Полное и частичное накрытие цели зоной поражения

В том случае, когда $R_C \geq max\left(\frac{Ц_X}{2}, \frac{Ц_Z}{2}\right) + R_П$ снаряд вообще не попадает в цель. Рассмотрим геометрическую схему расчета площади перекрытия прямоугольной цели круговой ЗП в направлении наименьшей стороны прямоугольника цели по оси z (рисунок 8).

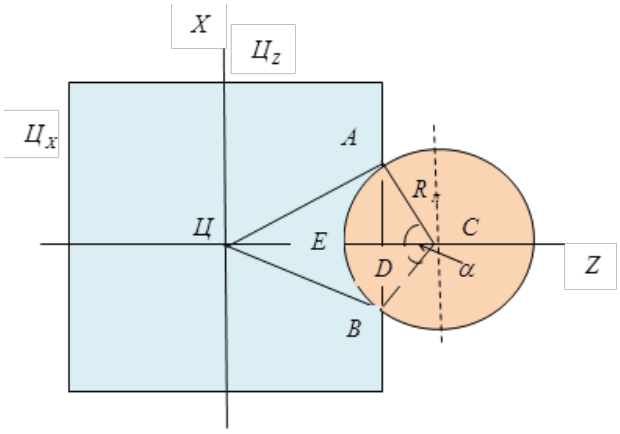


Рисунок 8 – Геометрическая схема расчета площади перекрытия прямоугольной цели круговой зоной поражения с $R_П < min\left(\frac{Ц_X}{2}, \frac{Ц_Z}{2}\right)$

Из рисунка 8 видно, что точка разрыва боеприпаса C находится вне зоны цели, но круговая зона поражения перекрывает зону цели по сегменту ABD. Площадь сегмента ABD равна разности площадей сектора CDB и треугольника CAB:

$$S_{ABD} = S_{CDB} - S_{CAB} = \frac{\alpha}{2} R_П^2 - \frac{\sin\alpha}{2} R_П^2 = \pi R_П^2 \left(\frac{\alpha - \sin\alpha}{2\pi}\right),$$

где: $\pi R_П^2 = S_П$ – площадь круговой зоны поражения.

Выразим секторальный угол α через размеры цели $\frac{Ц_Z}{2}$ и координату разрыва снаряда z_C. Учитывая, что $EC = \left|Z_C - \frac{Ц_Z}{2}\right|$; $cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{EC}{AC} = \frac{\left|z_C - \frac{Ц_Z}{2}\right|}{R_П}$; $sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \sqrt{1 - cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$; $sin\,\alpha = 2\,sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$, получаем систему уравнений для расчета площади перекрытия прямоугольной цели круговой зоной поражения:

$$V(z_c) = min\left(\frac{S_П(z_C)}{S_Ц}; 1\right) = \frac{\pi R_П^2 k(Z_C)}{Ц_X Ц_Z}, \tag{13}$$

где: $0 \le k(z_C) \le 1$ – коэффициент коррекции, зависящий от положения точки разрыва снаряда относительно центра цели (точки прицеливания):

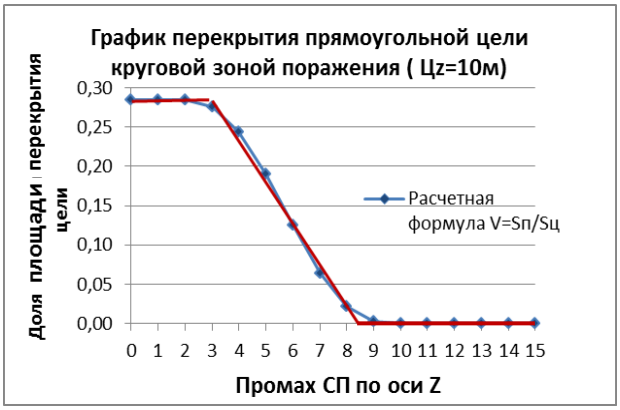
$$k(z_c) = \frac{|\alpha(z_c) - sin\,\alpha(z_c)|}{2\pi}; \frac{\alpha(z_C)}{2} = arccos\left(\frac{\left|z_C - \frac{Ц_Z}{2}\right|}{R_П}\right). \tag{14}$$

При $z_C = 0$, $\alpha = 2\pi$, что означает попадание снаряда в центр зоны цели, $k(z_C) = 1$. Далее с увеличением $z_C > 0$ и уменьшением угла α коэффициент $k(z)$ убывает. При $z_C = \frac{Ц_Z}{2}$, когда снаряд попадает на границу зоны цели, $\alpha = \pi$ и $k(z_C) = \frac{1}{2}$. При достижении $z_C \ge \frac{Ц_Z}{2} - R_П$ попадает за границу зоны поражающего действия, в этом случае $k(z_C) = 0$.

На рисунках 9 а, 9 б приведены графики расчетной функции перекрытия зоны цели круговой зоной поражения $V(z_C)$, $V(x_C)$ от величины промаха снаряда (X_C, Z_C) для размерной цели $Ц_X \times Ц_Z = 40 \times 20$ м при исходных данных примера 1.

Из рисунка видно, что функция перекрытия достаточно $V(z_C)$ точно аппроксимируется кусочно-линейной аппроксимацией по трем опорным точкам: $x_1 = 4$ м, $G(x_1) = 0{,}95$; $x_{0,5} = 6$ м, $G(x_{0,5}) = 0{,}5$; $x_0 = 9$ м, $G(x_0) = 0$. При этом среднеквадратический радиус зоны и условная вероятность поражения составляют: $R_П = 7{,}2$ м; $\overline{G} = 0{,}9$.

а)



б)

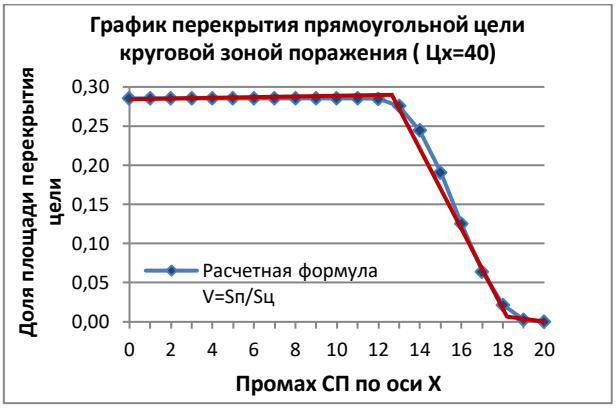


Рисунок 9 – Графики функции перекрытия прямоугольной зоны цели круговой зоной поражения

В случае, когда радиус зоны поражения превышает размеры цели (рисунок 10), то полное накрытие цели ЗП достигается при $R_C < R_П - max\left(\frac{Ц_X}{2}, \frac{Ц_Z}{2}\right)$, а отсутствие перекрытия при $R_C \geq R_П + max\left(\frac{Ц_X}{2}, \frac{Ц_Z}{2}\right)$. В остальных случаях имеет место частичное перекрытие.

Все формульные соотношения для расчета площади перекрытия, полученные выше, сохраняются.

На рисунке 11 приведен график функции перекрытия $V(z_c)$ для соотношения $\frac{R_П}{Ц_X} = 4{,}0$.

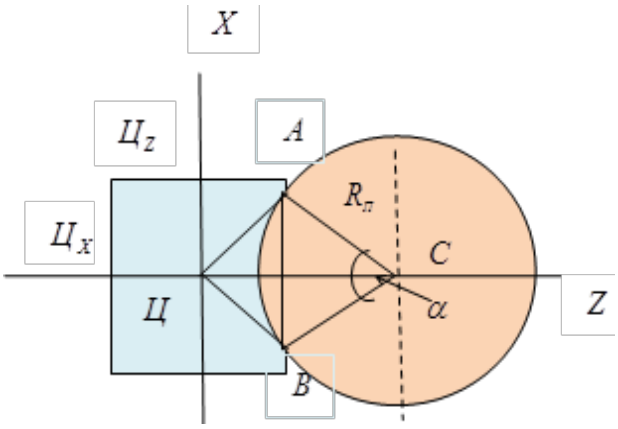


Рисунок 10 – Геометрическая схема расчета площади перекрытия прямоугольной цели круговой зоной поражения с $R_П \geq max\left(\frac{Ц_X}{2}, \frac{Ц_Z}{2}\right)$

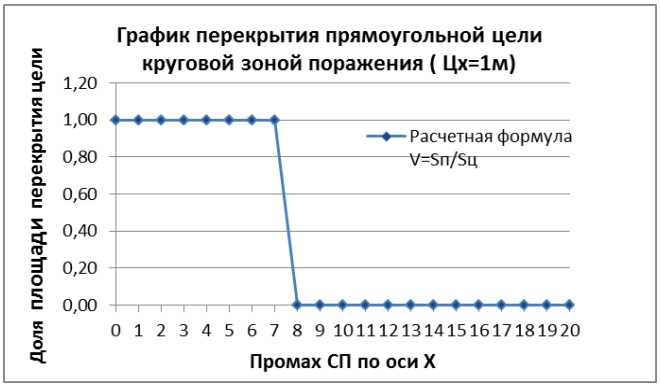


Рисунок 11 – График функции перекрытия цели зоной поражения боеприпаса с параметрами $\frac{R_{\Pi}}{Ц_Z} = 4{,}0$

Проведенные исследования показывают, что двух или трехступенчатая кусочно-линейная аппроксимация УЗП позволяет достаточно точно определять его параметры по экспериментальным данным. Далее замена кусочно-линейной УЗП равновеликой по площади импульсной функцией $G(r) = \overline{G}\mathbf{1}(R_{\Pi} - r)$ позволяет значительно упростить методику расчета и обеспечить достаточную точность оценки вероятности поражения цели для решения практических задач.

Заключение

Рассмотренный выше методический подход по определению основных показателей эффективности поражения наземных целей является дальнейшим развитием теории и методов оценки боевой эффективности ВВТ. Новыми научными и прикладными результатами являются:

обоснование трехступенчатой кусочно-линейной аппроксимации координатного (условного) закона поражения цели $G(r)$ по данным испытаний боеприпасов различного назначения по типовым целям;

методика расчета условной вероятности $\overline{G}$ и радиуса поражения R_{Π} по аппроксимирующей зависимости условного закона поражения $G(r)$, применение которой обеспечивает их полное согласование с экспериментальными данными;

методика расчета площади перекрытия прямоугольной цели круговой зоной поражения боеприпаса, позволяющая расширить условия применения боеприпасов и осуществлять оценку их боевой эффективности.

Предлагаемые автором методики не противоречат существующей методологию зонного подхода и расширяют возможности его применения для решения практических задач.

Предлагаемые методики могут быть использованы при модернизации существующих руководств по боевому применению современных комплексов вооружения, а также их боевых алгоритмов и программного обеспечения.

Список источников

1. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии: военно-теоретический труд / Под ред. А.А. Бобрикова. М.: СПб. 2006. 424 с.
2. Методы военно-научных исследований систем вооружения: военно-научный труд / Под общ. ред. В.М. Буренка. М.: Граница, 2017. 512 с.
3. Буравлев А.И., Брезгин В.С. Методы оценки эффективности применения высокоточного оружия. М.: Академия Жуковского, 2018. 232 с.

4. Методы оценки эффективности вооружения и военной техники / Под ред. В.М. Буренка. 2-е изд. М.: Граница, 2022. 264 с.
5. Мильграм Ю.Г., Попов И.С. Боевая эффективность авиационной техники и исследование операций. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1970. 500 с.
6. Власов В.И. Аргументы и факты теории боевой эффективности. М: ВУНЦ ВВС ВВА, 2011. 207 с.
7. Вентцель Е.С. Введение в исследование операций. М.: Сов. радио, 1964. 383 с.
8. Мильграм Ю.Г., Ерохин В.А. Основы единой зонной методики оценки эффективности применения авиационных средств поражения по наземным (морским) объектам / Под ред. проф. Ю.Г. Мильграма. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1985. 241 с.

Информация об авторе

А.И. Буравлев – доктор технических наук, профессор.