

УДК 621.396.67

А.А. Журавлев, С.В. Орлов

Харьковский университет воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБОСНОВАНИЮ ДОПУСТИМОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ОБЪЕКТА ПОРАЖЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНО-УДАРНОГО КОМПЛЕКСА

*В статье получено аналитическое выражение полной вероятности поражения обобщенной цели в зависимости от приведенных радиусов цели и ее зоны поражения, погрешностей стрельбы и определения координат объекта поражения. Приведена графическая зависимость вероятности поражения цели от радиуса неопределенности ее местоположения. Предложенный подход позволяет при проектировании разведывательно-ударного комплекса обосновать способ определения координат цели на основе максимума функции вероятности поражения объекта.*

**Ключевые слова:** приведенный радиус цели, зона поражения, функция вероятности поражения объекта, допустимая погрешность определения местоположения объекта, критерий выбора средства разведки при проектировании.

### Введение

**Постановка проблемы.** Надежное огневое поражение подвижных объектов противника за минимальное время с минимальным расходом боеприпасов может быть достигнуто комплексами высокоточного оружия реализацией которых являются разведывательно-ударные комплексы (РУК).

При проектировании РУК необходимо согласовать основные тактико-технические характеристики взаимодействующих систем разведки, передачи, обработки информации и ударных средств.

При создании РУК на основе уже стоящих на вооружении ударных средств с известными показателями ( $\sigma$  – точность стрельбы,  $S_{\Pi}$  – площадь поражения типовых объектов и др.) требуется выбрать такое средство разведки  $СР_i$   $i=1, 2, \dots, I$ , которое будет удовлетворять требованиям по точности определения местоположения объектов и времени сбора достоверной информации.

В системах разведки используются различные способы определения координат (с помощью радиолокационной разведки, визуального наблюдения с вертолета, ведение воздушной разведки с помощью радиолокационных приборов или телеаппаратуры и пр.), которые отличаются значениями точности определения местоположения и временем получения первичной развединформации. Однако, при заданных показателях средств поражения остается открытым вопрос обоснования допустимой погрешности определения местоположения объектов.

**Анализ литературы.** Оценка значений вероятности поражения цели при огневом поражении изложена в [1, 2]. Оценка допустимой длительности цикла функционирования системы разведки в РУК при нанесении удара по подвижным объектам рассмотрена в [3].

Методический подход к обоснованию допустимой погрешности местоположения объектов противника не опубликован.

**Цель статьи** – описать методический подход к обоснованию допустимой погрешности местоположения объектов противника на основе поиска максимума функции вероятности поражения объекта.

### Изложение основного материала

Получим аналитическое выражение полной вероятности поражения обобщенной цели  $P$  в зависимости от приведенных радиусов  $r_c$  цели,  $r$  зоны поражения, погрешностей  $\sigma$  стрельбы и  $R$  координат объекта поражения.

Неопределенность местоположения на земной поверхности типового объекта поражения будем оценивать величиной  $R$  радиуса круга, внутри которого он равновероятно располагается.

При заданных значениях  $\sigma$  и  $S_{\Pi}$ , характеризующих точность стрельбы и площадь поражения боевой части (БЧ), фактором, влияющим на значение вероятности  $P$  поражения объекта будет являться величина значения  $R$ . Поэтому запишем, что  $P(R)$ . Введем критерий допустимой степени неопределенности местоположения объекта

$$P(r) \geq P_d; \quad r \in \Omega_r, \quad (1)$$

где  $P_d$  – допустимое значение вероятности поражения объекта;  $r$  может принимать любые значения из некоторой области  $\Omega_r$  допустимых значений.

Типовой объект поражения аппроксимируем кругом  $\Pi$  с центром в точке  $O_{\Pi}$  и радиусом  $r_c$ , который равновероятно расположен внутри круга  $K_1$  с центром в точке  $O$  и радиусом  $R$  (рис. 1). Площадь  $S_{\Pi}$  земной поверхности, ограниченную областью поражения, аппроксимируем кругом  $K_2$  с центром в точке  $O_2$  и радиусом  $r$ . Положение точки  $O_2$  опреде-

ляется точкой подрыва БЧ средства поражения. Возможные положения точки  $O_2$  группируются вокруг точки прицеливания (ТП) и ограничены эллипсом максимального рассеивания с полуосями  $\Delta L$  и  $\Delta B$ . Точка  $O_2$  удалена от точки ТП на расстояние  $l$ .

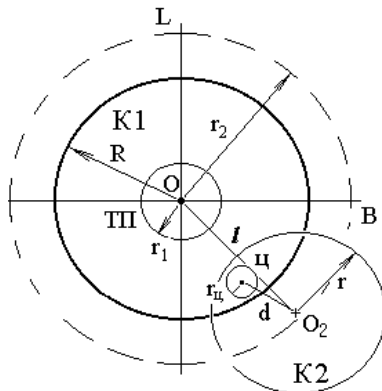


Рис. 1. Геометрическая интерпретация накрытия цели Ц областью поражения БЧ K2

При нормальных законах распределения плотностей вероятности размеры большой  $\Delta L$  и малой  $\Delta B$  полуосей эллипса максимального рассеивания будут определяться  $\Delta L \approx 2,7\sigma_L$  и  $\Delta B \approx 2,7\sigma_B$ , где  $\sigma_L$ ,  $\sigma_B$  – средние квадратические отклонения (СКО) координат точки  $O_2$  от координат ТП по дальности  $L$  и в боковом направлении  $B$  соответственно. При нулевых значениях математических ожиданий ТП совпадает с точкой  $O$ .

Для упрощения оценочных расчетов, эллипс максимального рассеивания заменим кругом с радиусом  $r_p \approx 2,7\sigma$ ,  $\sigma = (\sigma_L + \sigma_B)/2$ .

Положим, что если круг Ц полностью располагается внутри круга K2, то происходит поражение цели. В противном случае цель не поражается.

Поэтому, закон  $G(d)$  поражения определим в функции расстояния  $d$  между точками  $O_2$  и  $O_{Ц}$

$$G(d) = \begin{cases} 1, & \text{при } d \leq r; \\ 0, & \text{при } d > r. \end{cases}$$

Получим аналитическое выражение функции  $P(R)$ , используя приближенный метод приведенных зон [2], сущность которого состоит в том, что вероятность поражения цели является сложным событием и аналитически может быть выражена как произведение вероятностей двух случайных событий:

- 1) попадание точки  $O_2$  в окрестность круга K1;
- 2) поражение цели при условии накрытия кругом K2 круга Ц.

Рассмотрим случай, когда приведенный радиус зоны поражения меньше радиуса неопределенности местоположения цели  $r \leq R$ .

При фиксированных значениях величин  $\sigma$ ,  $r$  и  $r_{Ц}$  увеличение значения  $R$  с одной стороны приводит к увеличению вероятности попадания точки  $O_2$  в круг K1, а с другой стороны, приводит к уменьше-

нию вероятности накрытия кругом K2 круга Ц. Поэтому, существует оптимальное значение  $R^*$ , при котором достигается максимум функции  $P(R)$  вероятности поражения цели.

Полная вероятность события  $A$  поражения цели аналитически вычисляется как

$$P(A) = P(B_1)P(A / B_1) + P(B_2)P(A / B_2) + P(B_3)P(A / B_3); \quad (2)$$

$$P(B_1) + P(B_2) + P(B_3) = 1,$$

где  $B_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) – гипотезы, образующие полную группу несовместных событий;  $B_1$  – событие, заключающееся в том, что случайная величина  $l$  примет значение не превосходящее значение величины  $r_1$ , где  $r_1 = R - r$ ;  $B_2$  – событие, заключающееся в том, что значение случайной величины  $l$  попадет в заданный интервал  $r_1 < l \leq r_2$ , где  $r_2 = R + r - 2r_{Ц}$ ;  $B_3$  – событие, заключающееся в том, что  $r_2 < l$ .

Вероятность  $P(B_1)$  события  $B_1$  попадания точки  $O_2$  внутри круга с радиусом  $r_1$  вычисляется в конечном виде, если совместить ТП с центром  $O$  этого круга

$$P(B_1) = 1 - \exp[-r_1^2 / 2\sigma^2]. \quad (3)$$

Вероятность  $P(B_2)$  события  $B_2$  попадания точки  $O_2$  в концентричное кольцо с внутренним радиусом  $r_1$  и внешним радиусом  $r_2$

$$P(B_2) = \exp[-r_1^2 / 2\sigma^2] - \exp[-(r_1^2 + r_2^2) / 2\sigma^2]. \quad (4)$$

Вероятность  $P(B_3)$  события  $B_3$  не попадания в круг с радиусом  $r_2$

$$P(B_3) = \exp[-r_2^2 / 2\sigma^2]. \quad (5)$$

Условную вероятность поражения цели будем оценивать вероятностью попадания круга Ц в область, образованную пересечением кругов K1 и K2. При равновероятном расположении Ц внутри K1 выделим три возможных варианта события.

1. Круг K2 полностью расположен внутри круга K1 (событие  $B_1$ ). Условная вероятность  $P(A/B_1)$  на цель оценивается как отношение площадей кругов K2 и K1

$$P(A / B_1) = (r / R)^2. \quad (6)$$

2. Круг K2 частично расположен внутри круга K1 (событие  $B_2$ ). Условная вероятность  $P(A/B_2)$  поражения цели оценивается как отношение средней площади пересечения кругов K2 и K1 к площади K1

$$P(A/B_2) = \frac{1}{2\pi} \left\{ \phi_1 - c_1 \sqrt{1 - (c_1 / 2)^2} + (r / R)^2 \left[ \phi_2 - c_2 \sqrt{1 - (c_2 / 2)^2} \right] \right\}, \quad (7)$$

$$\phi_1 = \arccos(1 - c_1^2 / 2); \quad \phi_2 = \arccos(1 - c_2^2 / 2);$$

$$c_1 = \frac{2}{R} \sqrt{R^2 - ((R^2 - r^2) / (2,5 l_c))^2};$$

$$c_2 = \frac{2}{r} \sqrt{R^2 - \left( (R^2 - r^2) / (2.5 l_c) \right)^2}; \quad l_c = R + \frac{r_{ц}}{2}.$$

3. Круг K2 повністю розположен вне круга K1 (событие B<sub>3</sub>). В этом случае, очевидно

$$P(A / B_3) = 0. \quad (8)$$

Подставив (3) – (8) в (2) получим выражение для полной вероятности поражения обобщенной цели:

$$P = F_1(r) + F_2(r); \quad (9)$$

$$F_1(R) = (r/R)^2 \left( 1 - e^{-r^2/2\sigma^2} \right);$$

$$F_2(R) = e^{-r_1^2/2\sigma^2} - e^{-(r_1^2+r_2^2)/2\sigma^2} / (2\pi) \times \left( \phi_1 - c_1 \sqrt{1 - (c_1/2)^2} + (r/R)^2 \left( \phi_2 - c_2 \sqrt{1 - (c_2/2)^2} \right) \right).$$

Выражение (9) будем рассматривать как функцию аргумента R с параметрами  $\sigma$ , r и r<sub>ц</sub>;  $\sigma \in [\sigma_{\min}, \sigma_{\max}]$ ;  $\sigma_{\min} \neq 0$ , r  $\in [r_{\min}, r_{\max}]$ ; r<sub>ц</sub>  $\in [r_{ц\min}, r_{ц\max}]$ .

Функция (9) является трансцендентной, поэтому точного аналитического выражения для определения её максимума не существует. Для исследования (9) на наличие максимума используем численные методы, реализованные в стандартных математических пакетах прикладных программ (например, Maple 5). Исследование функции (9) на наличие максимума (рис. 2) показывает, что при заданных значениях параметров  $\sigma$ , r и r<sub>ц</sub> существует оптимальное значение  $R = R^*$ , доставляющее максимум функции P(R). Значение R\* можно трактовать как допустимую погрешность определения местоположения объекта и использовать в критерии выбора средства разведки при проектировании РУК. При заданных значениях параметров  $\sigma$ , r и r<sub>ц</sub> выбор средства разведки CP<sub>i</sub> можно проводить по критерию:

$$CP_i = \min_{i=1,1} |4E_i - R^*|,$$

E<sub>i</sub> – срединная погрешность i-го средства разведки.

## МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИПУСТИМОЇ ПОГРІШНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ОБ'ЄКТА УРАЖЕННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ РОЗВІДУВАЛЬНО-УДАРНОВОГО КОМПЛЕКСУ

О.О. Журавлев, С.В. Орлов

У статті отримано аналітичне вираження повної ймовірності ураження узагальненої цілі залежно від наведених радіусів цілі й зони ураження, погрешностей стрільби й визначення координат об'єкта ураження. Наведено графічну залежність значення ймовірності ураження цілі від значення радіуса невизначеності її місця розташування. Запропонований підхід дозволяє при проектуванні розвідувально-ударного комплексу обґрунтувати спосіб визначення координат цілі на основі пошуку максимуму функції ймовірності ураження об'єкта.

**Ключові слова:** наведений радіус цілі, зона ураження, функція ймовірності ураження об'єкта, припустима погрешність визначення місця розташування об'єкта, критерій вибору засобу розвідки при проектуванні.

## METHODICAL GOING NEAR GROUND OF PERMISSIBLE ERROR OF DETERMINATION OF COORDINATES OF OBJECT OF DEFEAT AT PLANNING OF RECONNAISSANCE-SHOCK COMPLEX

A.A. Zhuravlev, S.V. Orlov

In the article analytical expression of complete hit of the generalized aim probability is got depending on the brought radiuses over of aim and zone of defeat, errors of firing and determination of coordinates of object of defeat. Graphic dependence over of value of hit of aim probability is brought on the value of radius of vagueness of her location. Offered approach allows at planning of reconnaissance-shock complex to ground the method of determination of coordinates of aim to basis of search of a maximum of function of hit of object probability from the error of him location

**Keywords:** the brought radius over of aim, zone of defeat, function of hit of object probability, permissible error of position-fix of object, criterion of choice of means of secret service at.

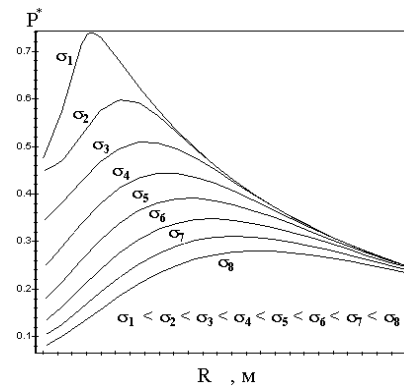


Рис. 2. Зависимость вероятности поражения цели от радиуса неопределенности ее местоположения при различных значениях СКО

## Выводы

При проектировании РУК возможно обосновать способ определения координат цели при проектировании системы разведки на основе поиска максимума функции вероятности поражения объекта.

## Список литературы

1. Балаганский И.А. Действие средств поражения и боеприпасов: Учебник / И.А. Балаганский, Л.А. Мерзиевский. – Новосибирск: НГТУ. – 2004. – 408 с.
2. Фендриков Н.М. Методы расчетов боевой эффективности вооружения / Н.М. Фендриков, В.И. Яковлев. – М.: МО СССР, 1971. – 223 с.
3. Журавлев О.О. Метод оцінки допустимої тривалості циклу функціонування системи розвідки в розвідувально-ударному комплексі при нанесенні удару по рухомим об'єктам // О.О. Журавлев, М.Г. Іванець // Системи озброєння і військова техніка. – 2015. – № 2(42). – С. 13-15.

Поступила в редколлегию 15.09.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.В. Худов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.