

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРЕЛБЫ ПОДВИЖНЫХ ЗЕНИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ БЛИЖНЕГО ДЕЙСТВИЯ

к.т.н. А.И. Коваленко

(представил д.т.н., проф. Е.Л. Казаков)

Приводится методика и анализ эффективности стрельбы зенитных комплексов ближнего действия. Методика предполагает нормальный закон оценки координат цели и рассеивания снарядов на момент встречи и представления цели в виде совокупности жизненно важных элементов сферической формы с известными эквивалентным радиусом, относительными координатами и коэффициентом уязвимости.

Постановка задачи. При усовершенствовании зенитного пушечного вооружения и радиолокационных средств на этапе технических предложений становится актуальной проблема оценки прогнозируемой эффективности применяемых технических решений. Таким образом, задача состоит в том, чтобы по имеющимся данным, таким как темп стрельбы, скорострельность, а также величинам ошибок сопровождения цели и стрельбы методом статистического моделирования оценить вероятностные характеристики поражения атакующих малоразмерных воздушных целей и самолетов.

Методика статистического моделирования стрельбы зенитного пушечного вооружения. Моделирование выполнялось с использованием системы координат $OX_1Y_1Z_1$, связанной с центром массы снаряда и системы координат $OXYZ$, начало которой находится в условном центре цели или одного из ее элементов (если цель многоэлементная). Взаимное положение указанных систем координат в общем случае определяется углами φ , θ , γ . Методика предполагает нормальный закон оценки координат цели и рассеивания снарядов на момент встречи, вследствие наличия большого количества и разнообразия источников случайных ошибок стрельбы [1, 2].

Величины ошибок, распределенных по нормальному закону, характеризуются значением полуосей эллипсоидов рассеивания снаряда и экстраполяции координат цели на момент встречи, численно равным среднеквадратическим ошибкам σ_x , σ_y , σ_z , σ_{x1} , σ_{y1} , σ_{z1} . Эти значения, как и величины систематических ошибок h_i , являются исходными данными для датчиков случайных чисел при проведении статистических испытаний. При дистанционной

стрельбе закон распределения трехмерный, при ударной – двумерный.

Размеры жизненно важных элементов цели, с некоторой условной вероятностью P_i (коэффициентом уязвимости), определяются эквивалентным радиусом круга (сферы) r_j ($j = 1 \dots 7$). Для ракет "воздух-земля" с компактным расположением поражаемых элементов $j = 1$. Координаты j -го элемента многоэлементной цели (самолета, вертолета) относительно центрального ($j = 1$) определяются как

$$x_j = x + l_{цхj}; y_j = y + l_{цy_j}; z_j = z + l_{цz_j}, \quad (1)$$

где $\bar{l}_{цj} \{ l_{цхj}, l_{цy_j}, l_{цz_j} \}$ – удаление жизненно-важного элемента от условного центра.

Для оценки взаимного положения в момент встречи координаты цели пересчитываются в систему координат снаряда:

$$\begin{aligned} x_{ц} &= x \cos \varphi \cos \theta + y \sin \theta - z \sin \varphi \cos \theta; \\ y_{ц} &= x(\sin \varphi \sin \gamma - \cos \varphi \cos \gamma \sin \theta) + y \cos \gamma \cos \theta + z(\cos \varphi \sin \gamma + \sin \varphi \cos \gamma \sin \theta); \\ z_{ц} &= x(\sin \varphi \cos \gamma - \cos \varphi \sin \gamma \sin \theta) - y \sin \gamma \cos \theta + z(\cos \varphi \cos \gamma - \sin \varphi \sin \gamma \sin \theta). \end{aligned} \quad (2)$$

Промак в районе точки встречи относительно j -го элемента равен

$$\lambda_j = \sqrt{\rho_{x_j}^2 + \rho_{y_j}^2 + \rho_{z_j}^2}, \quad (3)$$

где $\rho_{x_j} = x_{цj} - x_1$; $\rho_{y_j} = y_{цj} - y_1$; $\rho_{z_j} = z_{цj} - z_1$.

Пороговое значение промаха $\lambda_j = \delta$, при котором возможно попадание снаряда (осколка) в j -й элемент цели, определяется размерами элемента и снаряда (параметрами осколочного поля). Условия попадания при «ударной» стрельбе формируются следующим образом: если $\lambda_{ij} < r_j$, то $k_{ij} = 1$; если $\lambda_{ij} \geq r_j$, то $k_{ij} = 0$, где $i = \{1 \dots n\}$, а n – количество статистических испытаний. При моделировании задавалось $n = 10000$ и проводилось три серии испытаний с последующим усреднением результатов.

Вероятность поражения цели при попадании в j -й элемент одним снарядом

$$P_{1j} = P_j \cdot \left(\sum_i^n k_{ji} / n \right), \quad (4)$$

где $\sum_i^n k_{ji}$ – количество положительных решений условия попадания.

Вероятность поражения цели одним снарядом при наличии j элементов

$$P_{од} = \sum_{j=1}^J P_{1j}, \quad (5)$$

а вероятность поражения цели N снарядами за время пребывания ее в

зоне стрельбы

$$P_N = 1 - (1 - P_{од})^N \quad (6)$$

Результаты оценки $P_{од}$ и P_N при стрельбе по атакующей ракете "воздух-земля" с эквивалентным радиусом поражаемой площади элемента r при $\varphi = \theta = \gamma = 0$ и соответствующих ошибках $\sigma_{y,z}$, σ_{y1} , σ_{z1} , представлены на рис. 1.

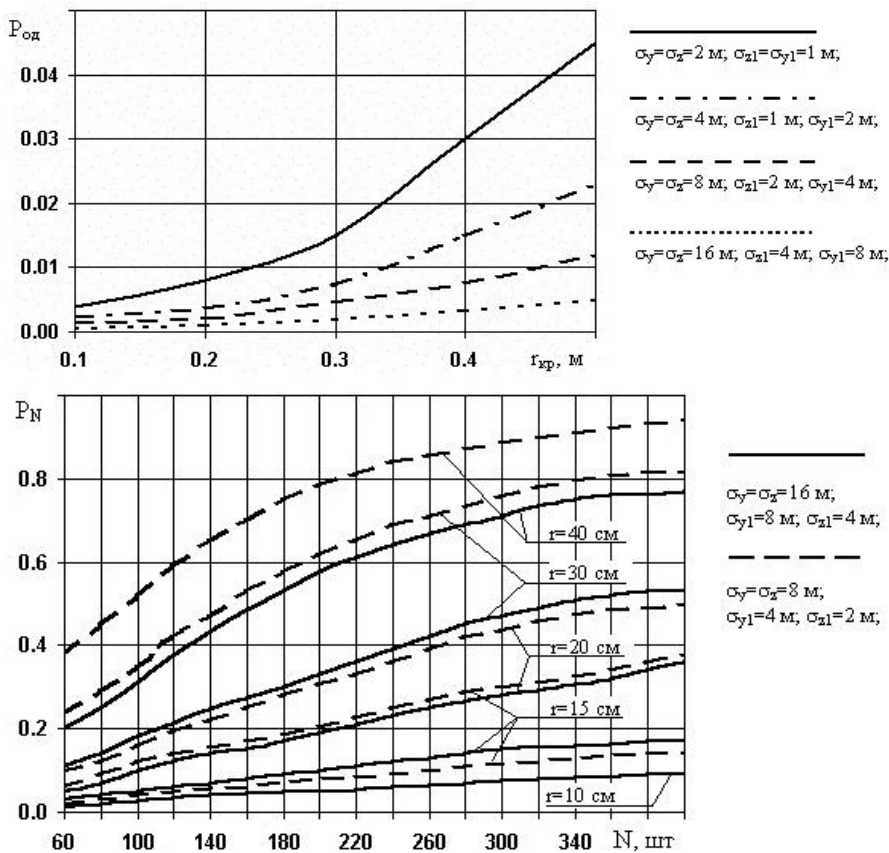


Рис. 1. Результаты оценки $P_{од}$ и P_N

Из анализа полученных результатов следует, что при ошибках сопровождения ($\sigma_y = \sigma_z = 16$ м) и стрельбы ($\sigma_{y1} = 8$ м, $\sigma_{z1} = 4$ м) и $r = 20 \dots 40$ см, вероятность поражения одним снарядом составляет $P_{од} = 0,0005 \dots 0,0024$, а снижение вероятности при уменьшении всех случайных ошибок вдвое (например, в результате модернизации) $P_{од} = 0,0007 \dots 0,0079$. При этом вероятность поражения ракет 200 снарядами (4 непрерывных очереди по 50 снарядов) составит $0,09 \dots 0,38$ в первом случае и $0,14 \dots 0,8$ – при

уменьшении вдвое случайных ошибок. При наличии систематических ошибок $h_y = h_z \approx 6$ м вероятность поражения уменьшается в 2 раза.

При моделировании стрельбы по самолетам использовалась многоэлементная модель представления уязвимости цели [3, 4]. Двухместные самолеты представлялись в виде 7 уязвимых элементов (рис. 2): 1 – аппаратура управления ($0,5 \cdot S_{ЖВА}$); 2, 3 – летчик и штурман; 4, 5 – боевая нагрузка ($0,5 S_{БН}$ на каждой внешней подвеске); 6, 7 – двигатели ($0,25 S_{ЖВА}$ каждый). Одноместные самолеты представлялись в виде 6 элементов с соответствующим распределением значений $r_j, P_j, l_{ц}$.

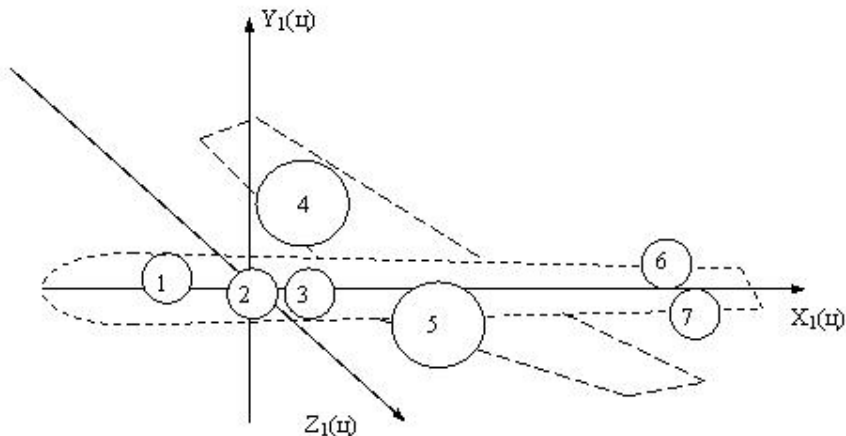


Рис. 2. Схема двухместного самолета

Размеры эквивалентного радиуса уязвимых элементов оценивались как

$$r_j = \sqrt{S_j / \pi}, \quad (7)$$

где S_j – известная уязвимая площадь соответствующего элемента цели.

Результаты оценки эффективности стрельбы по различным самолетам в виде вероятности поражения одним снарядом самолета с боевой нагрузкой ($P_{од}$) и без боевой нагрузки ($P_{одБН}$) при $\varphi = \theta = \gamma = 0^\circ$ и соответствующие зависимости ($P_N(N)$) представлены на рис. 3.

Выводы. Анализ полученных результатов показывает, что для различных типов самолетов есть различия в значениях $P_{од}$ (примерно в 2 раза) и существенное снижение вероятности $P_{одБН}$ поражения самолета без боевой нагрузки (в 3...4 раза). Так при случайных ошибках, близких к реальным, $P_{од} = 0,012...0,34$ и $P_{одБН} = 0,004...0,008$. Малые значения вероятностей имеют место для одноместных самолетов, а большие – для двухместных. Анализ зависимостей $P_N = f(N)$ для различных типов са-

молетов с боевой нагрузкой и без нее показывает, что вероятности поражения самолетов 200 снарядами находятся в пределах 0,91...0,99, а без боевой нагрузки – 0,55...0,8. Указанные величины вероятностей получены при отсутствии систематических ошибок.

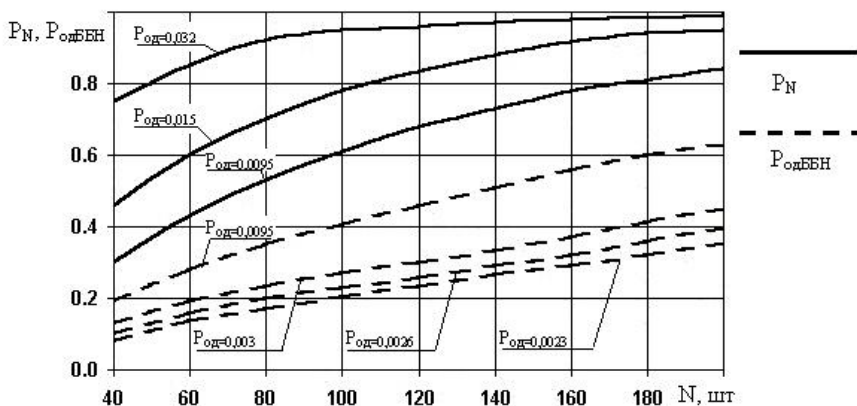


Рис. 3. Результаты оценки эффективности стрельбы

Проведенные исследования подтверждают работоспособность предлагаемой методики, но носят несколько общий характер. Более конкретные результаты, соответствующие определенной ситуации противоздушногo боя, могут быть получены с использованием данной методики и уточнения исходных данных, отражающих конкретные условия обстановки. Достоинством рассматриваемой методики является также то, что при моделировании в трехмерном пространстве с несколько измененным критерием попадания она пригодна для оценки эффективности стрельбы зенитными управляемыми ракетами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стрельба зенитной артиллерии / Под ред. А.Ф. Горохова. – М.: Воениздат, 1958, Кн. 1, 2. – Кн.1. – 399 с. – Кн. 2. – 304 с.
2. Болдаков Д.С., Кюпар И.И. Задачник по стрельбе зенитной артиллерии. – М.: Воениздат, 1960. – 382 с.
3. Бессерер К.У. Инженерный справочник по управляемым снарядам. – М.: Воениздат, 1962. – 624 с.
4. Мерилл Г., Гольдберг Г., Гельмгольц Р. Исследование операций. Боевые части. Пуск снарядов / Под ред. В.Ф. Замковца. – М.: Инostr. лит-ра, 1959. – 595 с.

Поступила 19.03.2004

КОВАЛЕНКО Андрей Иванович, канд. техн. наук, доцент, нач. НИО НЦ Войск ПВО.
В 1986 году окончил Житомирское ВУРЕ. Область научных интересов – кибернетика.
