

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ СРЕДСТВ КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ НАВЕДЕНИЯ ЗУР

А.Н. Печкин

(представил д.в.н., проф. И.О. Кириченко)

В статье предлагается обоснование рационального размещения средств ЗРК с совершенствованием методов наведения ЗУР.

Постановка проблемы. Проведенный анализ возможностей средств воздушного нападения по огневому подавлению средств зенитных ракетных комплексов позволяет сделать вывод о том, что возможно применение средств поражения по средствам ЗРК вне зоны их досягаемости [2].

Исходя из того, что дальняя граница действия ЗРК определяется соотношением потребных и располагаемых перегрузок зенитных управляемых ракет (ЗУР), потенциалом РЛС наведения и возможностями бортового координатора ракеты, одним из возможных вариантов увеличения дальности действия ЗРК без существенных затрат на его модернизацию является вынос пусковых установок (ПУ) в направлении ожидаемых действий противника. В тоже время исследования по выносу ПУ на значительное расстояние от РЛС наведения показали, что, наряду с увеличением дальности поражения воздушных целей, возможно снижение эффективности их поражения в связи с возможным возрастанием числа обстрелов целей на параметре относительно ПУ. Указанное обстоятельство потребовало исследования возможности повышения точности наведения ЗУР в ЗРК с разнесенной структурой элементов боевого порядка за счет совершенствования методов наведения.

Анализ литературы. Предложения об использовании разнесенной структурой элементов боевого порядка в ЗРК неоднократно обсуждалась, а соответствующие этим предложениям результаты были опубликованы для ЗРК малой дальности “Печора-2М” [6]. Так, например, в ЗРК “Печора-2М” предполагается увеличение расстояния между кабиной УНК и центром позиции (пост УНВ) с 20 до 150 м, оснащение ПУ автономным источником энергообеспечения, комплектом контрольной аппаратуры, аппаратурой предстартовой подготовки и радиолинией для об-

мена информацией ЗУР с командным пунктом дивизиона, что позволит, по мнению авторов, обеспечить вынос ПУ на наиболее опасном направлении возможных действий средств воздушного нападения (СВН) на удаление до 10 км от РЛС наведения.

Анализ опубликованных результатов позволяет сделать вывод о том, что научно обоснованного аппарата и методики обоснования такого размещения средств ЗРК на сегодняшний день не предложено.

Цель статьи. Разработать методику обоснования рационального размещения средств комплекса на основе совершенствования методов наведения ЗУР.

Основное содержание статьи. В статье предлагается методика, позволяющая для ЗРК с различными системами управления:

- обосновать параметры пространственного размещения средств ЗРК;
- разработать предложения по организации управления вынесенными стартовыми средствами ЗРК.

Суть методики заключается в следующем. На первом этапе (рис. 1) выбирается тип ЗРК, определяются его тактико-технические характеристики, осуществляется моделирование типового налета средств воздушного нападения по обороняемому объекту с помощью методики указанной в [5].

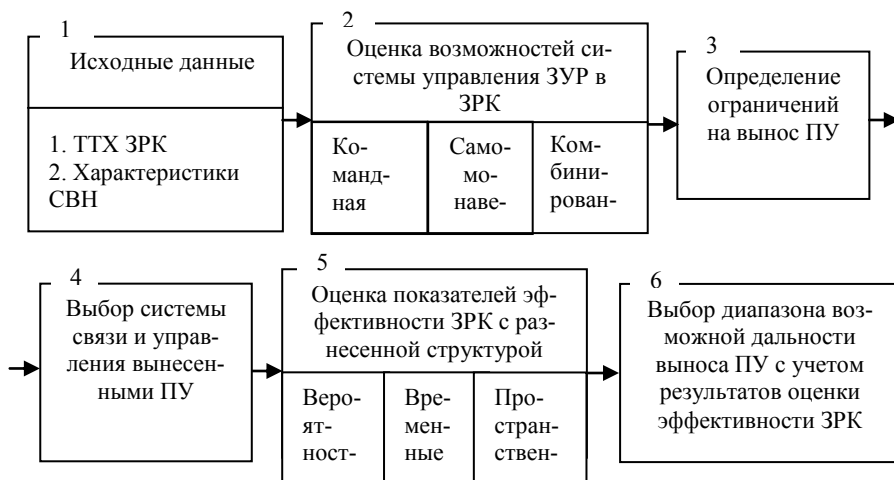


Рис. 1. Блок-схема методики обоснования рационального размещения средств ЗРК

На втором этапе производится оценка возможностей системы управления ЗУР в ЗРК при выносе ПУ от антенных устройств измерителя и преобразование алгоритмов формирования команд управления ра-

кетой с учетом выноса ПУ.

Так, известно, что нормальное наведение ЗУР на цель в ЗРК обеспечивается при выполнении условия, когда значение располагаемых перегрузок ракеты при реализации метода наведения не менее потребных. При этом в ЗРК с разнесенной структурой для реализации телеуправления ЗУР команды управления должны вырабатываться с учетом положения цели, ракеты и пусковой установки. Для спрямления траектории полета ЗУР и увеличения дальности стрельбы при разнесенной структуре комплекса кинематическая траектория должна строиться из точки стояния ПУ (рис. 2), где ИК – измеритель координат цели и ЗУР.

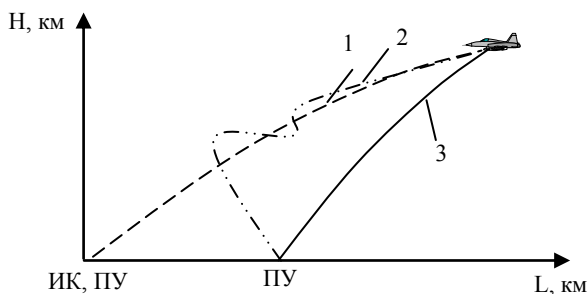


Рис. 2. Кинематические траектории ЗУР:

- 1 – при наведении относительно ИК (при совмещенном расположении ИК и ПУ);
- 2 – при наведении относительно ИК (при разнесенном расположении ИК и ПУ);
- 3 – при наведении относительно ПУ (при разнесенном расположении ИК и ПУ)

На третьем этапе определяется дальность выноса ПУ для ЗРК с учетом ограничений, определяемых как

$$D_6 \leq r_{\text{ПУН}} \leq f(D_{\text{цУ}}, d_{\text{потр}}, D_{\text{стс}}, D_{\text{кру}}, D_{\text{пв}}, D_{\text{стр}}), \quad (1)$$

где D_6 – дальность до ближней границы зоны поражения;

$r_{\text{ПУН}}$ – дальность от антенных устройств ИК до вынесенной ПУ;

$d_{\text{потр}}$ – потребная дальность обнаружения цели;

D_c – дальность действия системы связи и управления;

$D_{\text{пв}}$ – дальность прямой видимости;

$D_{\text{стр}}$ – дальность стрельбы.

Дальняя граница зоны поражения будет определяться, в основном, ошибками стрельбы ЗУР, обусловленными точностью измерения координат СНР и соотношением потребных и располагаемых перегрузок ракет. Так среднеквадратическое отклонение ошибок (СКО) определе-

ния угловых координат цели будет определяться с использованием [2]

$$\sigma = \sqrt{\sigma_d^2 + \sigma_{\text{и}}^2 + \sigma_{\text{ф}}^2}, \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{ф}} = r_{\text{ТВ}} \sin(\sigma_{\beta(\epsilon)_{\text{пот}}})$ – СКО флюктуационных ошибок измерения угловых координат;

$r_{\text{ТВ}}$ – дальность до точки встречи ЗУР с целью;

$\sigma_{\beta(\epsilon)}$ – СКО ошибок измерения угловых координат;

σ_d – СКО динамических ошибок измерения угловых координат;

$\sigma_{\text{и}}$ – СКО инструментальных ошибок измерения угловых координат.

Проведенный анализ показателей эффективности ЗРК с системами телеуправления и самонаведения показал, что применение в нем разнесенной структуры позволяет расширить зону поражения ЗРК, устранить „мертвые воронки” для вынесенных пусковых установок.

При этом обобщенная зона обстрела для ЗРК с разнесенной структурой будет строиться путем суперпозиции зон обстрела относительно каждой пусковой установки. Она будет иметь сложную геометрическую форму и структуру. Зона обстрела будет сплошной при выносе пусковых установок на расстояние больше дальности до ближней границы зоны поражения, что позволит увеличить общую глубину зоны обстрела. Так, например, при $V_{\text{ц}} = 300 \text{ м/с}$ и увеличении глубины зоны поражения на 10 км количество целей, которые могут быть обстреляны за счет глубины зоны поражения (ЗП) может возрасти на 25 – 30% (рис. 3). Расчеты проводились с использованием выражений и с использованием данных [2, 7]

$$N_{\text{оц}} = \text{ent} \left[1 + \frac{T_{\text{пр}} - t_{\text{и}}(n-1)}{t_{\text{п}} - \Delta t_{\text{ц}}} \right], \quad (3)$$

где $T_{\text{пр}} = \frac{L_d - L_{\text{б}}}{V_{\text{ц}}} + (t_{\text{рд}} + t_{\text{рб}})$;

$T_{\text{пр}}$ – время пребывания цели в зоне поражения;

$t_{\text{и}}$ – интервалы между пусками ЗУР;

$t_{\text{п}}$ – время переноса огня;

$\Delta t_{\text{ц}}$ – временные интервалы между целями;

$L_{\text{б}}$, L_d – соответственно дальность до ближней и дальней границ ЗП;

$t_{\text{рд}}$, $t_{\text{рб}}$ – соответственно время полета ЗУР до ближней и дальней границ ЗП.

На четвертом этапе проводится выбор системы связи и управления вынесенными ПУ. Выбор данной системы осуществляется для обеспечения управления вынесенными средствами на максимально возможной

дальности.

На пятом этапе осуществляется оценка показателей эффективности ЗРК с разнесенной структурой. Далее показатели эффективности комплекса с разнесенной структурой сравниваются с показателями ЗРК с обычным расположением средств. После этого, при положительном результате, производится выбор диапазона возможной дальности выноса ПУ.

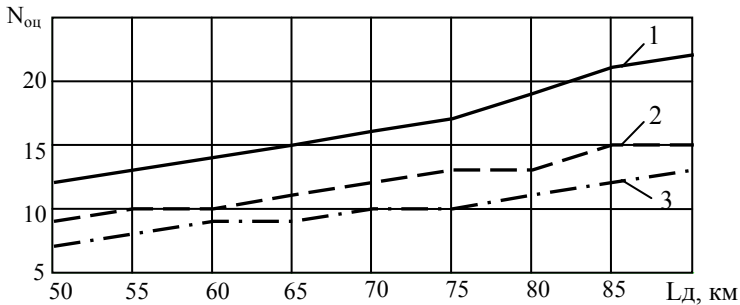


Рис. 3. Зависимость максимального числа целей, которые могут быть обстреляны за счет глубины зоны поражения от горизонтальной дальности до дальней границы ЗП (соответственно для: 1 – $V_{ц} = 300$ м/с; 2 – $V_{ц} = 500$ м/с; 3 – $V_{ц} = 700$ м/с)

В связи с изменением траектории полета ЗУР, и, соответственно, возможных условий подхода ракеты к цели, а также, учитывая, что вероятность поражения цели может уменьшиться, возникает необходимость исследования методов наведения во вновь сложившейся ситуации.

Совершенствование двухточечного метода наведения – метода пропорционального сближения предлагается осуществить путем адаптивного изменения переменного коэффициента пропорциональности в законе формирования кинематической траектории.

Для определения функциональной зависимости изменения коэффициента пропорциональности проведен анализ кинематических уравнений метода пропорционального наведения [1] (выражения (4), (5)).

$$\dot{D} = V_{ц} \cos(\theta_{ц} - \varepsilon) - V_p \cos[(b-1)\varepsilon + C]; \quad (4)$$

$$D\dot{\varepsilon} = V_{ц} \sin(\theta_{ц} - \varepsilon) - V_p \sin[(b-1)\varepsilon + C], \quad (5)$$

где D – расстояние между ЗУР и целью; $\theta_{ц}$ – угол, определяющий соответственно положение вектора скорости цели; ε – угол наклона линии ЗУР – цель в вертикальной плоскости; C – постоянная интегрирования.

Анализ выражений показал, что величина угловой скорости вращения линии ракета-цель (выражение (6)) [1, 3, 4] увеличивается пропорционально значениям тангенциального и нормального ускорений цели и

ракеты, а значит ошибок наведения и промаха ЗУР:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{W_{тц} + W_{нц} - W_{тр} - W_{нр}}{-2|\dot{D}|}, \quad (6)$$

где $W_{тц}$, $W_{тр}$ – тангенциальные ускорения цели и ЗУР;

$W_{нц}$, $W_{нр}$ – нормальные ускорения цели и ЗУР.

Для уменьшения влияния указанных выше недостатков метода пропорционального сближения предложено изменить закон формирования углового положения вектора скорости в вертикальной плоскости как

$$\theta_p = \varepsilon + m\tau\dot{\varepsilon}, \quad (7)$$

где m – коэффициент, определяемый из уравнения $[m\tau]' = \dot{m}\tau + m\dot{\tau}$;

$\tau = \frac{D}{|\dot{D}|}$ – время полета ЗУР, оставшееся до точки встречи;

ε – угол наклона линии ракета – цель;

$\dot{\varepsilon}$ – угловая скорость вращения линии ракета – цель

При этом угловая скорость вращения вектора скорости ЗУР будет определяться как

$$\dot{\theta}_p = \dot{\varepsilon}(1 + [m\tau]') + m\tau\ddot{\varepsilon}. \quad (8)$$

В этом случае величина угловой скорости вращения линии ракета – цель в районе точки встречи не зависит от тангенциального ускорения ЗУР и, следовательно, нет необходимости его измерения и введения соответствующей компенсационной поправки в команды управления ракетой (выражение (9))

$$\dot{\varepsilon} = \frac{W_{тц} + W_{нц}}{-2|\dot{D}|}, \text{ при } \tau \rightarrow 0, [m\tau]' = -1. \quad (9)$$

Это позволит улучшить соотношение потребных и располагаемых перегрузок ракеты.

Оценка эффективности метода пропорционального сближения с переменным коэффициентом пропорциональности производилась с помощью математического моделирования траекторий движения цели и наводимых в соответствии с выбранным методом наведения на нее ракет в соответствии с методикой, изложенной в [7]. Результаты моделирования представлены на рис. 4. При уменьшении нормального кинематического ускорения ЗУР, будет уменьшаться фактический промах, определяемый с помощью выражения [3]

$$h_{\phi} = \frac{D^2}{D} \left(\dot{\varepsilon} + \frac{W_H}{2D} \right). \quad (10)$$

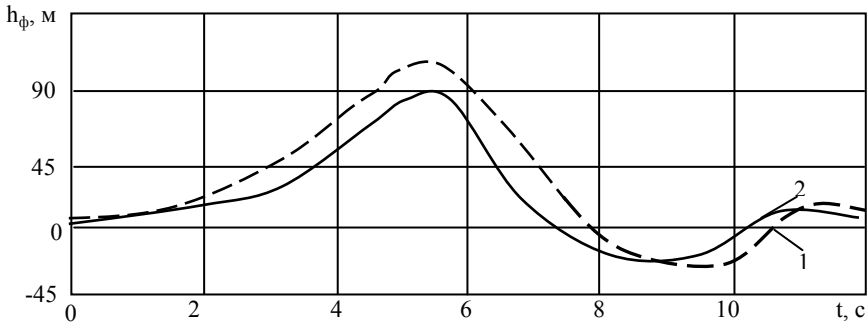


Рис. 4. Графики зависимости h_{ϕ} от t_m при движении центра масс ракеты по методу пропорционального сближения при $\varepsilon = 10^\circ$, $\theta_p = 20^\circ$, $D_0 = 40$ км, $V_c = 500$ м/с, $n_c = 6$) для: 1 – постоянного коэффициента пропорциональности; 2 – переменного коэффициента пропорциональности

Выводы. При использовании методики обоснования рационального размещения средств комплекса на основе совершенствования методов наведения ЗУР расширяется зона поражения ЗРК и, следовательно, количество целей, которые могут быть обстреляны за счет глубины ЗП может возрасти на 25 – 30%. При этом за счет совершенствования методов наведения возможно уменьшение фактического промаха ЗУР на 12 – 15%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головятенко В.Я. Основы построения радиоэлектронных устройств зенитных ракетных систем. – Х.: ХВУ, 1997. – 280 с.
2. Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Торопчин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник, Р.Е. Пащенко та ін. – К.: МО України, Х.: ХВУ, 2003. – 368 с.
3. Ковтуненко А.П., Шершнев Н.А. Основы теории построения и моделирования сложных систем вооружения. – ВИРТА, 1992. – 233 с.
4. Кун А.А. Основы построения зенитных ракетных комплексов. – М.: Воениздат. – 1985. – 344 с.
5. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация: Введение в теорию. – К.: КВЦ, 2000. – 428 с.
6. Ракетные комплексы страны // Авиация и космонавтика. – № 12 (вып.87). – 2002. – С. 28 – 29.
7. Неупокоев В.Ф. Стрельба зенитными ракетами. – М.: Воениздат, 1991. – 309 с.

Поступила 19.11.2004

ПЕЧКИН Андрей Николаевич, старший научный сотрудник НИЛ кафедры ХУ ПС.
В 1995 году окончил ХВУ. Область научных интересов – оценка эффективности функционирования сложных систем.
