

УДК 623.765.4

DOI: 10.22213/2413-1172-2026-2-68-78

Определение границ действующих зон поражения зенитных огневых средств в системе противовоздушной обороны ордера надводных кораблей при отражении атак противокорабельных крылатых ракет

В. А. Галий, кандидат технических наук, доцент, Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

С. Н. Иванищев, Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

В. Н. Букрий, кандидат технических наук, Севастополь, Россия

Предлагаемое исследование направлено на определение границ действующих зон поражения зенитных огневых средств в системе противовоздушной обороны ордера надводных кораблей при отражении атак противокорабельных крылатых ракет. Цель исследования – определение границ действующих зон поражения зенитных огневых средств в системе противовоздушной обороны и учет их влияния на уровень боеспособности ордера надводных кораблей при отражении атак противокорабельных крылатых ракет в различных условиях тактической обстановки. Научная новизна исследования заключается в детальном учете параметров собственных зон поражения зенитных огневых средств, дальностей обнаружения, направлений атак и рубежей выполнения задач атакующих противокорабельных крылатых ракет, согласования собственных зон поражения и секторов стрельбы, запретных секторов стрельбы в интересах безопасности соседних кораблей ордера, а также запретных секторов, обусловленных нарушением электромагнитной совместимости (ЭМС) средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и зенитных огневых средств, мер безопасности в интересах наведения истребительной авиации и учета влияния всех отмеченных параметров на уровень боеспособности как действующих, так и перспективных проектов кораблей ордера. Знание границ действующих зон поражения позволяет рассчитывать число стрельб и оценивать эффективность зенитных огневых средств при отражении атак противокорабельных крылатых ракет, решать задачи оптимизации управления режимом готовности и целераспределения зенитных огневых средств, задачи оптимизации построения системы противовоздушной обороны ордера надводных кораблей при отражении атак противокорабельных крылатых ракет, как на этапе планирования боевых действий, так и в ходе противовоздушного боя. Результаты имитационного моделирования, опубликованные в закрытых изданиях и проведенные с учетом конкретных образцов вооружения, установленных на действующих кораблях и на кораблях перспективных проектов, полностью подтвердили, что неправильный учет либо игнорирование границ действующих зон поражения зенитных огневых средств в системе противовоздушной обороны корабля (ордера надводных кораблей) при отражении атак противокорабельных крылатых ракет не позволяет в полной мере реализовывать боевые возможности контура (системы) противовоздушной обороны и приводит к потере боеспособности корабля (ордера надводных кораблей).

Ключевые слова: противокорабельная крылатая ракета, зенитное огневое средство, собственная зона поражения, действующая зона поражения, рубеж выполнения задачи, запретный сектор стрельбы.

Введение

Правильная оценка боевых возможностей зенитных огневых средств в системе противовоздушной обороны невозможна без детального учета согласования зон поражения, секторов обстрела, рубежей выполнения задач атакующих противокорабельных крылатых ракет (ПКР), выполнения мер взаимной безопасности кораблями ордера, а также электромагнитной совместимости средств радиоэлектронной борьбы и зенитных огневых средств (ЗОС), мер безопасности в интересах наведения истребительной авиации (ИА) [1, 2].

Под собственной зоной поражения ЗОС понимается область воздушного пространства, в пределах которой обеспечивается поражение цели в расчетных условиях стрельбы с вероятностью определения зоны поражения [3]. В книге, написанной по материалам открытой зарубежной и отечественной печати говорится о поражении цели в расчетных условиях стрельбы в зоне поражения с вероятностью, не менее заданной, впрочем, как и в ряде других работ, в которых также говорится о поражении цели в любой точке зоны поражения с заданной вероятностью. По мнению авторов данной статьи, эти заявления недостаточно корректны по следующим причинам:

- вероятность того, что непрерывные случайные значения (X, Y, Z) координат точки встречи (подрыва) ЗУР (снарядов очереди) в зоне поражения примут детерминированные значения (x, y, z) , функционально связанные с условной вероятностью поражения цели в данной точке зоны поражения, равна нулю;

- детерминированные координаты точки (x, y, z) в зоне поражения по существу являются квантилями функции распределения непрерывных случайных координат (X, Y, Z) точки встречи (подрыва) ЗУР (снарядов очереди); в связи с этим следует говорить о зоне поражения как о пространственной зоне, в каждой точке которой вероятность поражения цели может принимать значения либо более, либо менее заданной;

- в соответствии с поставленной задачей гарантированного поражения цели в расчетных условиях стрельбы речь должна идти о зоне поражения как о пространственной зоне, в пределах которой обеспечивается поражение цели с гарантированной вероятностью более заданной.

Под сектором обстрела понимается область воздушного пространства, ограниченная курсовыми углами, в пределах которой зенитное огневое средство может беспрепятственно вести стрельбу.

В дальнейшем под собственной зоной поражения и сектором обстрела понимаются их горизонтальные проекции, получаемые в результате сечения пространственных зон горизонтальной плоскостью на высоте полета воздушной цели.

Под согласованием зон поражения и секторов обстрела ЗОС понимается такая их ориентация в пространстве, при которой обеспечивается определенная степень их совпадения. Зона поражения строится в координатной системе, связанной с курсом цели, сектор обстрела – в системе координат, связанной со стреляющим кораблем. В момент отражения атаки воздушных целей их курсы, курс стреляющего корабля, пеленг и направление налета могут быть любыми, и цели, находящиеся в зоне поражения ЗОС, могут оказаться вне сектора обстрела. Могут быть случаи, когда цели оказываются в зоне поражения, но вне сектора обстрела ЗОС, и только позже, по мере сближения с объектом удара, входят в этот сектор. Или в начальный момент цели окажутся в секторе обстрела, а затем выйдут из него, не достигнув ближней границы зоны поражения.

Цель исследования – определение границ действующих зон поражения зенитных огневых средств в системе противовоздушной обороны и учет их влияния на уровень боеспособности ордера надводных кораблей при отражении атак противокорабельных крылатых ракет в различных условиях тактической обстановки.

Учет факторов, влияющих на положение и размеры границ действующих зон поражения зенитных огневых средств в системе противовоздушной обороны ордера надводных кораблей при отражении атак противокорабельных крылатых ракет

Степень согласования зон поражения и секторов обстрела может быть разной:

- согласование будет полным, если сектор обстрела накладывается на зону поражения и не ограничивает ее;
- согласование будет частичным, если только часть пути, проходимого целью в зоне поражения, находится в секторе обстрела (рис. 1);
- согласование отсутствует, если зона поражения и сектор обстрела не совпадают в пространстве.

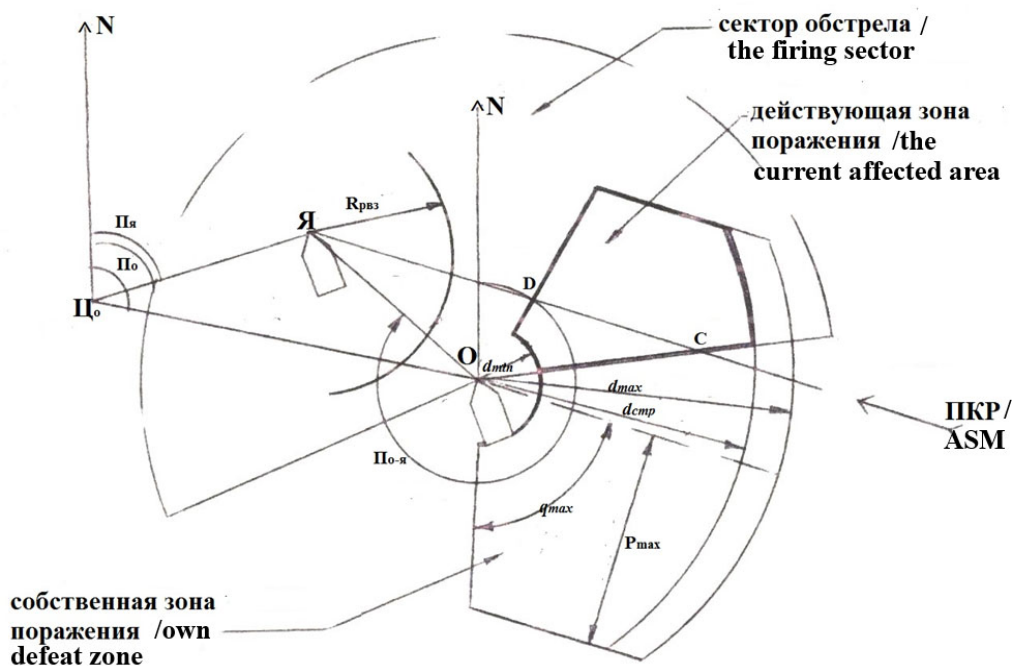


Рис. 1. Согласование сектора обстрела и собственной зоны поражения комплекса при отражении ПКР

Fig. 1. Coordination of the firing sector and the complex's own kill zone when repelling anti-ship missiles

Обозначения на рисунке 1

- Π_o – геометрический центр ордера;
- $Я$ – местоположение корабля ядра;
- O – местоположение корабля охранения;
- $\Pi_я, d_я, \Pi_o, d_o$ – пеленг и дистанция корабля ядра и корабля охранения от центра ордера (Π_o);
- $\Pi_{o-я}, d_{o-я}$ – пеленг и дистанция с корабля охранения на корабль ядра;

- q_{max} – максимальный курсовой угол собственной зоны поражения;
- R_{max} – максимальный курсовой параметр;
- $d_{стр}$ – максимальная реализуемая дальность стрельбы;
- d_{min}, d_{max} – удаление от надводного корабля (НК) ближней и дальней границ собственной зоны поражения соответственно;
- DC – длина обстреливаемого участка.

Часть собственной зоны поражения, в пределах которой ЗОС может вести стрельбу с учетом сектора обстрела и ряда других рассматриваемых ниже ограничений, образует действующую зону поражения (ДЗП).

Часто о боевых возможностях системы противовоздушной обороны (ПВО) судят по количеству огневых средств, способных принять участие в отражении воздушного противника [4]. Количество участвующих в стрельбе комплексов не может однозначно характеризовать боевые возможности системы ПВО.

Степень реализации боевых возможностей системы ПВО определяется числом стрельб (Антонов Ю. С. Теоретические основы построения системы зенитного огневого прикрытия соединения надводных кораблей в интересах противоракетной обороны: дис. ... д-ра техн. наук, 1990), выполняемых по противокорабельным крылатым ракетам (ПКР) за время отражения атаки последних.

Число стрельб, в свою очередь, зависит от длины и местоположения обстреливаемого участка. Под длиной обстреливаемого участка (глубиной ДЗП) понимается расстояние между дальней и ближней границами действующей зоны поражения на пути полета цели. В ряде случаев при лучшем согласовании зон поражения и секторов обстрела меньшее количество комплексов, участвующих в отражении атаки, способно произвести больше стрельб, чем большее их количество при худшем согласовании рассматриваемых зон и секторов [5].

Существенное влияние на величину ДЗП может оказывать дальность обнаружения ПКР. При малой дальности обнаружения положение дальней границы ДЗП может совпадать с ее ближней границей, делая невозможным обстрел цели [6].

Величина рубежа выполнения задачи ПКР – $R_{рвз}$ – оказывает влияние на положение ближней границы ДЗП, в ряде случаев существенно отодвигая ее от корабля [7].

Минимально разрешенные удаления кораблей ордера друг от друга (в частности, в интересах ЭМС, маневрирования, защиты от оружия массового поражения и др.), а также запрещенные для стрельбы сектора в направлении соседних кораблей ордера, как и запрещенные сектора, обусловленные в ряде случаев работой средств РЭБ и наведением ИА, могут также ограничивать размеры действующей зоны поражения [8].

Влияние на параметры ДЗП имеют следующие факторы:

- направление атаки ПКР;
- гарантированная дальность обнаружения ПКР [9];
- рубеж выполнения задачи ПКР [10];
- согласование сектора обстрела и собственной зоны поражения зенитного огневого средства;
- обеспечение мер безопасности в интересах соседних кораблей ордера, наведения ИА и электромагнитной совместимости средств РЭБ и ЗОС [11].

Определение направления атаки ПКР

В общем случае совместный залп по ордеру надводных кораблей (НК) состоит из разнотипных ПКР, идущих к ордеру с нескольких направлений, различными скоростями и на разных высотах. Возможности системы ПВО и каждого ЗОС в отдельности по противодействию будут существенно зависеть от варианта целераспределения ПКР [12].

Для определения ДЗП каждого ЗОС необходимо в расчетах учитывать направления атак различных групп ПКР при выборе конкретного охраняемого корабля ордера в качестве объекта прицеливания.

Алгоритм определения направления атаки ПКР показан на рисунках 2 и 3.

Обозначения на рисунках 2, 3

Ц_0 – геометрический центр ордера;

O – местоположение l -го НК;

P_{ol}, d_{ol} – пеленг и дистанция, соответственно, l -го НК охранения относительно Ц_0 ;

$\text{P}_{обнj}$ – пеленг обнаружения атакующей j -й группы ПКР;

$d_{олj}, d_{lj}$ – гарантированная дальность обнаружения ПКР j -й группы l -м НК охранения и также дальность от Ц_0 ;

Я – местоположение охраняемого корабля;

$\text{P}_{ял}, d_{ял}$ – пеленг и дистанция охраняемого НК от Ц_0 ;

$\gamma_{нjl}$ – угол, определяющий направление атаки

ПКР j -й группы по l -му кораблю ядра;

d_{maxj} – максимальная из гарантированных дальностей обнаружения ПКР j -й группы кораблями ордера;

$d_{огsj}$ – гарантированная дальность обнаружения

ПКР j -й группы РЛС s -го НК, т. е. дальность обнаружения с заданным гарантированным уровнем вероятности P_r (квантиль функции распределения непрерывной случайной величины – дальности обнаружения для заданного уровня вероятности).

По теореме синусов из $\Delta \text{П}_0 \text{OB}$ (см. рис. 2) получается угол

$$\beta_{jl} = \arcsin \left(\frac{d_{ol} \sin \alpha_{jl}}{d_{огlj}} \right), \quad (1)$$

где $\alpha_{jl} = (\text{P}_{обнj} - \text{P}_{ol})$.

Если $\alpha_{jl} > 180^\circ$, то $\alpha_{jl} = 360^\circ - (\text{P}_{обнj} - \text{P}_{ol})$.

В формуле (1):

если $d_{огlj} \geq d_{ol}$, то $\beta_{jl} < 90^\circ$ и существует одно решение;

если $d_{ol} \sin \alpha_{jl} > d_{огlj}$ – решение невозможно, т. е. $d'_{lj} = 0$;

если $d_{ol} \sin \alpha_{jl} = d_{огlj}$ – существует одно решение, и $\beta_{jl} = 90^\circ$;

если $d_{ol} \sin \alpha_{jl} < d_{огlj}$ – существует два решения, β_{j1} и $\beta_{j2} = 180^\circ - \beta_{j1}$, из которых выбирается наибольшее.

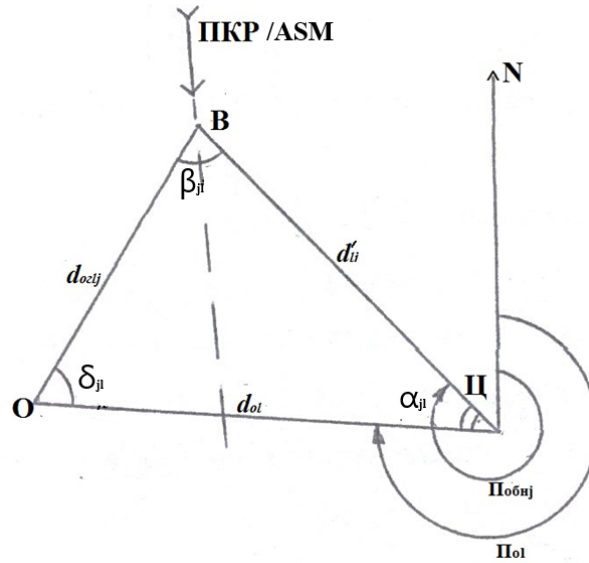


Рис. 2. Определение дальности обнаружения ПКР относительно геометрического центра ордера

Fig. 2. Determining the detection rang of the ASM relative to the geometric center of the order

$$\delta_{jl1} = 180^\circ - (\alpha_{jl1} - \beta_{jl}); \quad (2)$$

$$d'_{lj} = \frac{d_{o\Gamma lj} \sin \delta_{jl}}{\sin \alpha_{jl}}. \quad (3)$$

и окончательно

$$d'_{lj} = \max(d'_{lj1}, d'_{lj2}). \quad (7)$$

Если $\alpha_{jl} = 0$, то $d'_{kj} = d_{o\Gamma lj} + d_{oi}$; если $\alpha_{jl} = 180^\circ$,

то $d'_{lj} = d_{o\Gamma lj} - d_{oi}$; если $\alpha_{jl} < 0$, то $d'_{lj} = 0$.

Когда $d_{oi} \sin \alpha_{jl} < d_{o\Gamma lj}$ и существует два решения, принимается

$$\delta_{jl1} = 180^\circ - (\alpha_{jl} + \beta_{jl1}); \quad (4)$$

$$\delta_{jl2} = 180^\circ - (\alpha_{jl} + \beta_{jl2}); \quad (5)$$

$$d'_{lj2} = \frac{d_{o\Gamma lj} \sin \delta_{jl2}}{\sin \alpha_{jl}}, \quad (6)$$

$$d'_{\max j} = \max(d'_{lj}, (1, L)), \quad (8)$$

где L – общее количество кораблей в ордере; j – количество атакующих групп ПКР.

При известной величине $d'_{\max j}$ из $\Delta\Pi_oЯВ$ (см. рис. 3)

$$\alpha'_{jl} = (\Pi_{обнj} - \Pi_{ял}). \quad (9)$$

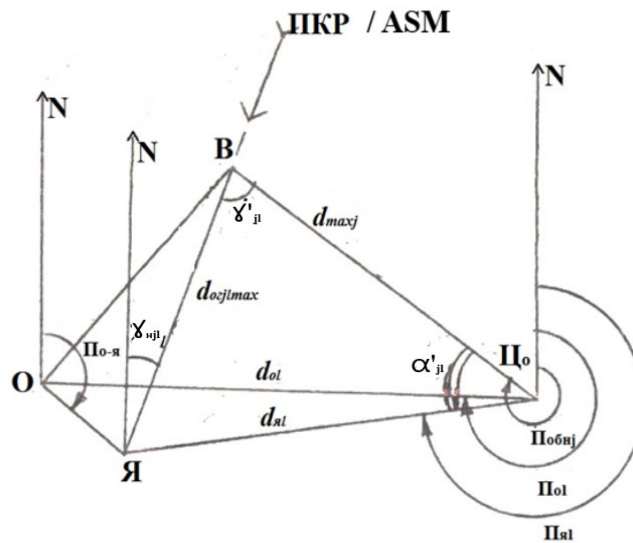


Рис. 3. Определение направления атаки ПКР

Fig. 3. Determining the direction of the ASM attack

По теореме косинусов

$$d_{o\Gamma jl \max} = \sqrt{d'_{\max j}{}^2 + d_{ял}{}^2 - 2d'_{\max j}d_{ял} \cos \alpha'_{jl}}. \quad (10)$$

По теореме синусов

$$\gamma'_{jl} = \arcsin \left(\frac{d_{ял} \sin \alpha'_{jl}}{d_{o\Gamma jl \max}} \right). \quad (11)$$

Значение угла γ_{njl} направления атаки ПКР в навигационной системе координат (СК) определяется следующим образом:

$$\begin{cases} \Pi_{обн j} - \gamma'_{jl}, & \text{если } \Pi_{ял} > \Pi_{обн j}, \\ \gamma_{njl} = \Pi_{обн j} + \gamma'_{jl}, & \text{если } \Pi_{ял} < \Pi_{обн j}, \\ \Pi_{обн j}, & \text{если } \Pi_{ял} = \Pi_{обн j} \text{ или } \Pi_{ял} = \Pi_{обн j} \pm 180^\circ. \end{cases} \quad (12)$$

Расчеты выполняются по каждому варианту распределения ПКР из состава J атакующих групп по L атакуемым НК ордера, т. е. с учетом матрицы назначений, каждый элемент n_{jil} которой равен числу ПКР из состава j -й группы, атакующих l -й корабль.

Оценка влияния на действующую зону поражения гарантированной дальности обнаружения ПКР

Величина максимальной реализуемой дальности стрельбы v -го ЗОС s -го НК по ПКР j -й группы (дальности встречи первой ЗУР залпа (снарядов очереди) с целью) определяется выражением

$$d_{стрvj} = \begin{cases} \frac{d_{o\Gamma sj} - V_{цj}^* t_{рабv}}{I + \gamma_{vj}} & \text{при } d_{o\Gamma sj} < d_{\max} (I + \gamma_{vs}) + V_{цj}^* t_{рабv}, \\ d_{\max v} & \text{при } d_{o\Gamma sj} > d_{\max v} (I + \gamma_{vs}) + V_{цj}^* t_{рабv}, \end{cases} \quad (13)$$

где приведенная скорость цели определяется выражением

$$V_{цj}^* = \frac{(d_{o\Gamma sj \max} - d_{выхvj})}{\sqrt{d_{o\Gamma sj \max}^2 - P_{ls}^2} - \sqrt{d_{выхvj}^2 - P_{ls}^2}} V_{цj} \quad (v = \overline{1, M_L}); (j = \overline{1, J}); (l, s = \overline{1, L}). \quad (14)$$

В формулах (13), (14) обозначены:

$d_{o\Gamma sj}$ – гарантированная дальность обнаружения ПКР j -й группы РЛС s -го НК, т. е. дальность обнаружения с заданным гарантированным уровнем вероятности P_{Γ} ;

$d_{\max v}$ – удаление от НК дальней границы собственной зоны поражения v -го ЗОС;

$d_{выхvj}$ – удаление от стреляющего корабля ближней границы действующей зоны поражения v -го ЗОС при стрельбе по ПКР j -й группы, атакующих l -й НК ордера;

$V_{цj}$ – скорость ПКР j -й группы;

$t_{рабv}$ – рабочее время v -го ЗОС;

$\gamma_{vj} = V_{цj}^* / V_{зур(он)v}$;

M_L – количество ЗОС на L кораблях ордера;

P_{ls} – курсовой параметр относительно s -го стреляющего корабля ПКР, атакующих l -й НК.

Для случая $d_{стрvj} < d_{\max v}$ реализуемая в данных условиях дальность стрельбы ограничивает глубину действующей зоны поражения.

Оценка влияния на действующую зону поражения рубежа выполнения задачи ПКР

Возможность обстрела любым ЗОС целей определяется условием (рис. 4)

$$|P_{ls}| \leq \min(d_{стрvj}; P_{\max v}), \quad (15)$$

где $P_{\max v}$ – предельный курсовой параметр ЗП v -го ЗОС.

На рисунке 4 величина P_{ls} по существу является ординатой местоположения l -го корабля в системе координат (СК) $X_n O_n Y_n$, повернутой относительно навигационной СК XOY на угол $\phi_{jl} = (90^\circ - \gamma_{njl})$. Угол γ_{jl} определяет направление атаки ПКР j -й группы по l -му НК в системе координат XOY .

$$P_{ls} = Y_l^n = (Y_l - Y_s) \cos \phi_{jl} - (X_l - X_s) \sin \phi_{jl}, \quad (16)$$

где (X_l, Y_l) и (X_s, Y_s) – координаты точек, определяющие положения l -го и s -го кораблей в СК XOY .

Значение абсциссы точки входа ПКР в зону поражения ЗОС s -го НК определяется по формуле

$$x_{выхvj} = \sqrt{d_{стрvj}^2 - P_{ls}^2}. \quad (17)$$

Абсцисса точки выхода получается из выражения

$$x_{выхvj} = \begin{cases} |P_{ls}| \tan(90^\circ - q_{\max v}) & \text{при } |P_{ls}| > d_{\min v} \sin(q_{\max v}), \\ \sqrt{d_{\min v}^2 - P_{ls}^2} & \text{при } |P_{ls}| < d_{\min v} \sin(q_{\max v}). \end{cases} \quad (18)$$

В СК $X_n O_n Y_n$ абсциссы $x_{vs}^{(l)}$ точек входа в область, ограниченную радиусом $R_{рвz}$, определяются из выражения

$$x_{vs}^{(l)} = x_l^n + R_{рвz} = (Y_l - Y_s) \sin \phi_{jl} + (x_l - x_s) \cos \phi_{jl} + R_{рвz}, \quad (19)$$

где x_l^n – абсцисса местоположения l -го корабля в СК $X_n O_n Y_n$; $R_{рвz}$ – рубеж выполнения задачи ПКР j -й группы.

Окончательно из величин $x_{выхvj}$ и $x_{vs}^{(l)}$ для определения абсциссы точки выхода ПКР за пределы ДЗП выбирается наибольшая.

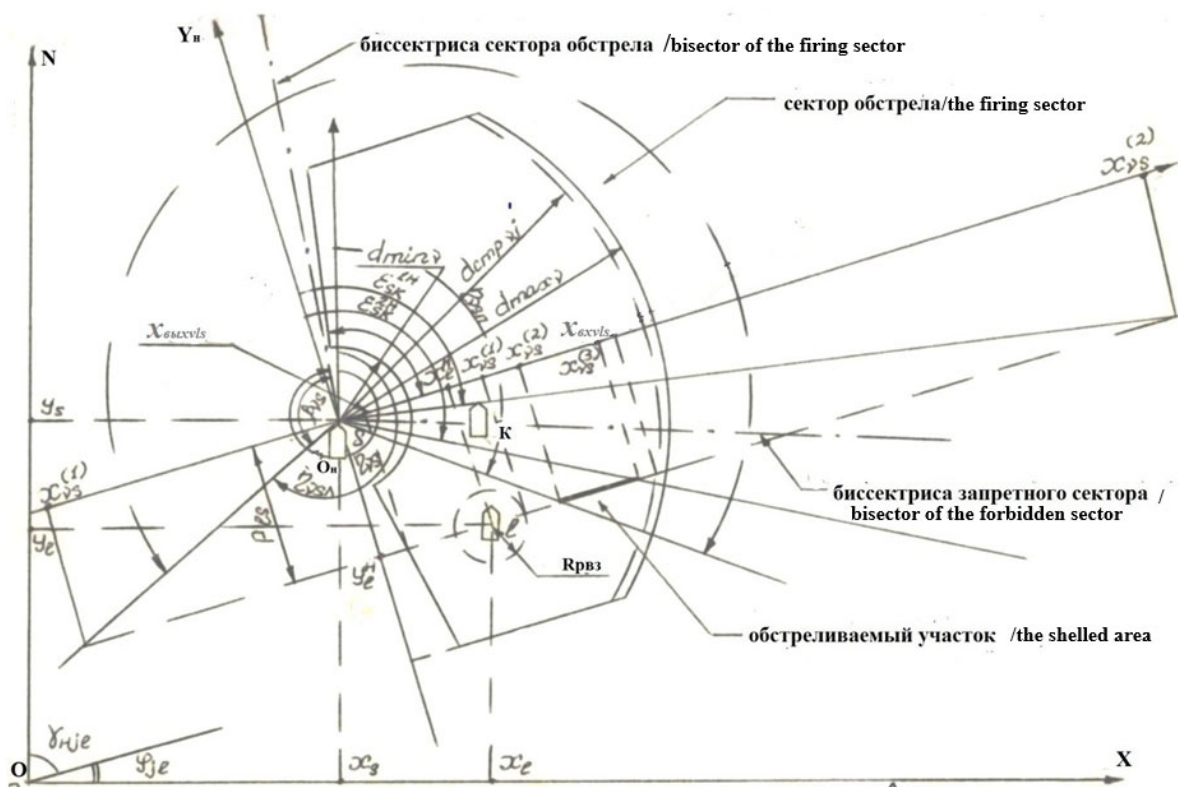


Рис. 4. Определение границ действующей зоны поражения

Fig. 4. Defining the boundaries of the current affected area

Оценка влияния на действующую зону поражения степени согласования сектора обстрела и собственной зоны поражения ЗОС

Степень согласования зон поражения и секторов обстрела в общем случае зависит:

- от взаимного расположения и расстояний между кораблями охранения и охраняемыми кораблями в порядке;
- курса кораблей;
- направления, с которого атакуют порядок ПКР;
- параметров зон поражения (дальней и ближней границ, предельных курсовых улов, предельных курсовых параметров, высот полета и углов места целей);
- параметров секторов обстрела (предельных горизонтальных и вертикальных углов наведения пусковых (артиллерийских) установок и антенных постов, угловых скоростей наведения).

От того насколько полно согласуются зоны поражения и сектора обстрела, зависит степень реализации боевых возможностей ЗОС.

Сектор обстрела корабля может быть охарактеризован:

η_{vs} – направлением биссектрисы сектора, отсчитываемым от направления курса корабля по часовой стрелке;

β_{vs} – половиной сектора обстрела, т. е. углом между биссектрисой сектора и его левой (или правой) границами.

В навигационной СК XOY направление биссектрисы сектора определяется выражением

$$\eta'_{vs} = \eta_{vs} + K_0, \tag{20}$$

где K_0 – значение генерального курса порядка НК.

Левая и правая границы сектора обстрела в этой системе координат, соответственно:

$$\eta_{vsл} = \eta_{vs} - \beta_{vs}; \tag{21}$$

$$\eta_{vsп} = \eta_{vs} + \beta_{vs}. \tag{22}$$

Направление биссектрисы сектора обстрела в СК $X_nO_nY_n$ (рис. 4) определяется выражением

$$\eta^H_{vs} = \eta_{vs} + K_0 + \varphi_{jl}, \tag{23}$$

где $\varphi_{jl} = 90^\circ - \gamma_{Hjl}$, а значение левой и правой границ сектора в этой же системе

$$\eta^H_{vsл} = \eta^H_{vs} - \beta_{vs}; \tag{24}$$

$$\eta^H_{vsп} = \eta^H_{vs} + \beta_{vs}, \tag{25}$$

причем если $\eta^H_{vsл} < 0$, то $\eta^H_{vsл} = 360^\circ + \eta^H_{vsл}$; если $\eta^H_{vsп} > 360^\circ$, то $\eta^H_{vsп} = \eta^H_{vsп} - 360^\circ$.

Решением систем уравнений

$$\left. \begin{aligned} x_{vs}^{(1)} &= P_{ls} \operatorname{tg}(\eta^H_{vsп}) \\ x_{vs}^{(2)} &= P_{ls} \operatorname{tg}(\eta^H_{vsл}) \end{aligned} \right\} \text{при } P_{ls} < 0; \tag{26}$$

$$\left. \begin{aligned} x_{VS}^{(1)} &= P_{ls} \operatorname{tg}(\eta_{VSl}^H) \\ x_{VS}^{(2)} &= P_{ls} \operatorname{tg}(\eta_{VSl}^H) \end{aligned} \right\} \text{при } P_{ls} > 0 \quad (27)$$

в СК $X_H O_H Y_H$ находятся абсциссы $x_{VS}^{(1)}$ и $x_{VS}^{(2)}$ – координаты пересечения границ секторов с прямой $Y = P_{ls}$.

Определим принадлежность x_{BxVls} и x_{BxVls} сектору обстрела. Повернем СК $X_H O_H Y_H$ на угол

$$\begin{aligned} \psi &= 360^\circ - \eta'_{VS} - \phi_{ji} = \\ &= 360^\circ - \eta_{VS} - K_0 - 90^\circ + \gamma_{Hji} = 270^\circ - \eta_{VS} - K_0 + \gamma_{Hji}. \end{aligned}$$

В новой системе $X'_H O'_H Y'_H$ направление биссектрисы сектора обстрела совпадает с осью $O'_H Y'_H$, а пеленг левой и правой границ сектора, соответственно, $\eta'_{VSl} = 360^\circ - \eta_{VS}$, $\eta'_{VSl} = \eta_{VS}$.

Обозначим сектор обстрела S_s . Тогда если $x_{BxVls} \notin S_s$ и $x_{BxVls} \notin S_s$, длина обстреливаемого участка в пределах действующей зоны поражения равна 0, или, что то же самое,

$$\eta'_{VSl} > \Pi'_{(\bullet)BxVls} > \eta'_{VSl} \text{ и } \eta'_{VSl} > \Pi'_{(\bullet)BxVls} > \eta'_{VSl},$$

где $\Pi'_{(\bullet)BxVls}$, $\Pi'_{(\bullet)BxVls}$ – пеленг на точки входа и выхода соответственно (их координаты определены выше) в СК $X'_H O'_H Y'_H$.

Если $x_{BxVls} \in S_s$ и $x_{BxVls} \in S_s$, т. е. выполняются условия $(\Pi'_{(\bullet)BxVls} > \eta'_{VSl} \text{ и } \Pi'_{(\bullet)BxVls} > \eta'_{VSl})$ или $(\Pi'_{(\bullet)BxVls} < \eta'_{VSl} \text{ и } \Pi'_{(\bullet)BxVls} < \eta'_{VSl})$, сектор обстрела не ограничивает длину обстреливаемого участка.

В остальных случаях абсциссы x_{BxVls} и x_{BxVls} определяются из соотношений, приведенных ниже:

• если $\eta'_{VSl} > \Pi'_{(\bullet)BxVls} > \eta'_{VSl}$, то

а) если $\eta_{VSl} = 90^\circ$, то $x_{BxVls} = x_{VS}^{(2)} = P_{ls} \operatorname{tg}(\eta_{VSl})$;

б) если $\eta_{VSl} = 90^\circ$, то $x_{BxVls} = x_{VS}^{(2)} = P_{ls} \operatorname{tg}(\eta_{VSl})$;

в) если $\eta_{VSl} = 90^\circ$ и $\eta_{VSl} = 90^\circ$, то

$$x_{BxVls} = \max \begin{cases} x_{VS}^{(1)} = P_{ls} \operatorname{tg}(\eta_{VSl}), \\ x_{VS}^{(2)} = P_{ls} \operatorname{tg}(\eta_{VSl}); \end{cases} \quad (28)$$

• если $\Pi'_{(\bullet)BxVls} > \eta'_{VSl}$ или $\Pi'_{(\bullet)BxVls} < \eta'_{VSl}$, то

а) если $\eta_{VSl} = 90^\circ$, то $x_{BxVls} = x_{VS}^{(1)} = P_{ls} \operatorname{tg}(\eta_{VSl})$;

б) если $\eta_{VSl} = 90^\circ$, то $x_{BxVls} = x_{VS}^{(1)} = P_{ls} \operatorname{tg}(\eta_{VSl})$;

в) если $\eta_{VSl} = 90^\circ$ и $\eta_{VSl} = 90^\circ$, то

$$x_{BxVls} = \max \begin{cases} x_{VS}^{(1)} = P_{ls} \operatorname{tg}(\eta_{VSl}), \\ x_{VS}^{(2)} = P_{ls} \operatorname{tg}(\eta_{VSl}); \end{cases} \quad (29)$$

• если $\eta'_{VSl} > \Pi'_{(\bullet)BxVls} > \eta'_{VSl}$, то

а) если $\eta_{VSl} = 90^\circ$, то $x_{BxVls} = x_{VS}^{(2)} = P_{ls} \operatorname{tg}(\eta_{VSl})$;

б) если $\eta_{VSl} = 90^\circ$, то $x_{BxVls} = x_{VS}^{(2)} = P_{ls} \operatorname{tg}(\eta_{VSl})$;

в) если $\eta_{VSl} = 90^\circ$ и $\eta_{VSl} = 90^\circ$, то

$$x_{BxVls} = \max \begin{cases} x_{VS}^{(1)} = P_{ls} \operatorname{tg}(\eta_{VSl}), \\ x_{VS}^{(2)} = P_{ls} \operatorname{tg}(\eta_{VSl}). \end{cases} \quad (30)$$

Оценка влияния на действующую зону поражения обеспечения мер безопасности в интересах соседних кораблей порядка наведения истребительной авиации, электромагнитной совместимости средств радиоэлектронной борьбы и зенитных огневых средств

Обстрел ПКР зенитным огневым средством возможен при выполнении следующих условий (рис. 4):

$$d_{sk} > R_{\text{безск}} \quad (k = \overline{1, L}; k \neq s); \quad (31)$$

$$q_{sk} > \varepsilon_{sk} \quad (k = \overline{1, L}; k \neq s), \quad (32)$$

где d_{sk} – расстояние между s -м и k -м кораблями; $R_{\text{безск}}$ – максимальный из радиусов зон безопасности (в интересах ЭМС, маневрирования и т. д.) s -го и k -го кораблей; q_{sk} – угол между направлением на ПКР со стреляющего s -го НК и направлением на k -й НК; ε_{sk} – половина запретного сектора стрельбы s -го НК в направлении на k -й НК (запретного сектора, обусловленного работой средств РЭБ, запретного сектора в интересах наведения ИА), в пределах которого запрещена стрельба зенитного огневых средств.

Условие (31) выполняется размещением кораблей порядка на обеспечивающих взаимную безопасность удаления друг от друга. Выполнение условия (32) практически невозможно предусмотреть заранее, как и невозможно учесть все возможные направления атаки ПКР. Таким образом, последнее из условий в той или иной степени будет накладывать ограничения на величину ДЗП.

Расстояние между s -м k -м кораблями

$$d_{sk} = \sqrt{(x_s - x_k)^2 + (Y_s - Y_k)^2}, \quad (33)$$

где (x_s, Y_s) и (x_k, Y_k) – координаты s -го и k -го кораблей в навигационной системе координат.

Границы запретных секторов стрельбы определяются по формулам:

$$\varepsilon_{sk}^1 = \Pi_{sk} - \varepsilon_{sk} \quad (s = \overline{1, L}; s \neq k); \quad (34)$$

$$\varepsilon_{sk}^2 = \Pi_{sk} + \varepsilon_{sk} \quad (s = \overline{1, L}; s \neq k). \quad (35)$$

В выражениях (34) и (35) обозначены:

$\varepsilon_{sk}^1, \varepsilon_{sk}^2$ – направления границ запретного сектора стрельбы s -го НК в направлении k -го НК;

Π_{sk} – пеленг с s -го НК на k -й НК.

В СК $X_H O_H Y_H$ границы запретных секторов стрельбы определяются выражениями:

$$\varepsilon_{sk}^{1H} = \Pi_{sk} - \varepsilon_{sk} + \varphi_{jl} \quad (s = \overline{1, L}; k \neq 1); \quad (36)$$

$$\varepsilon_{sk}^{2H} = \Pi_{sk} + \varepsilon_{sk} + \varphi_{jl} \quad (s = \overline{1, L}; k \neq 1). \quad (37)$$

Если $\varepsilon_{sk}^{2H} > 360^\circ$, то $\varepsilon_{sk}^{1H} = 0$ и $\varepsilon_{sk}^{2H} = \varepsilon_{sk}^{2H} - 360^\circ$;

если $\varepsilon_{sk}^{1H} < 0$, то $\varepsilon_{sk}^{1H} = \varepsilon_{sk}^{1H} + 360^\circ$;

если $\varepsilon_{sk}^{2H} < 0$, то $\varepsilon_{sk}^{2H} = \varepsilon_{sk}^{2H} + 360^\circ$.

В СК $X_H O_H Y_H$ абсциссы $x_{vs}^{(2)}$ и $x_{vs}^{(3)}$ пересечений границ запретных секторов с прямой $Y = P_{ls}$ находятся решением следующих систем уравнений:

$$\left. \begin{aligned} x_{vs}^{(2)} &= P_{ls} \operatorname{tg}(\varepsilon_{sk}^{2H}) \\ x_{vs}^{(3)} &= P_{ls} \operatorname{tg}(\varepsilon_{sk}^{1H}) \end{aligned} \right\} \text{ для } P_{ls} > 0; \quad (38)$$

$$\left. \begin{aligned} x_{vs}^{(2)} &= P_{ls} \operatorname{tg}(\varepsilon_{sk}^{1H}) \\ x_{vs}^{(3)} &= P_{ls} \operatorname{tg}(\varepsilon_{sk}^{2H}) \end{aligned} \right\} \text{ для } P_{ls} < 0, \quad (39)$$

в которых P_{ls} – ордината l -го корабля, являющегося объектом атаки в СК $X_H O_H Y_H$.

Принимается условие обстрела до прохода ПКР курсового параметра, поэтому отрицательные значения абсцисс исключаются из рассмотрения.

Запретный сектор стрельбы не ограничивает длину обстреливаемого участка в пределах ДЗП в следующих случаях:

если $(360^\circ > \varepsilon_{sk}^{1H} > 180^\circ)$ и $(360^\circ > \varepsilon_{sk}^{2H} > 180^\circ)$;

если $\varepsilon_{sk}^{2H} = 90^\circ$ и $P_{ls} < 0$;

если $\varepsilon_{sk}^{1H} = 90^\circ$ и $P_{ls} > 0$.

Обстреливаемый участок полностью находится в запретном секторе, и стрельба по мерам безопасности невозможна в случае, если $P_{ls} = 0$ и $\varepsilon_{sk}^{1H} < 90^\circ$, и $\varepsilon_{sk}^{2H} > 90^\circ$.

Во всех остальных случаях:

если $\varepsilon_{sk}^{1H} > 360^\circ$ и $\varepsilon_{sk}^{2H} > 360^\circ$, то $\varepsilon_{sk}^{1H} = \varepsilon_{sk}^{1H} - 360^\circ$,

$\varepsilon_{sk}^{2H} = \varepsilon_{sk}^{2H} - 360^\circ$;

если $\varepsilon_{sk}^{2H} > 360^\circ$ и $\varepsilon_{sk}^{1H} < 360^\circ$, то $\varepsilon_{sk}^{1H} = 0$,

$\varepsilon_{sk}^{2H} = \varepsilon_{sk}^{2H} - 360^\circ$;

если $\varepsilon_{sk}^{2H} > 180^\circ$ и $\varepsilon_{sk}^{1H} < 180^\circ$, то $\varepsilon_{sk}^{2H} = 180^\circ$;

если $\varepsilon_{sk}^{1H} = 90^\circ$ и $P_{ls} < 0$, то $x_{vs}^{(2)} = P_{ls} \operatorname{tg}(\varepsilon_{sk}^{2H})$;

если $\varepsilon_{sk}^{2H} = 90^\circ$ и $P_{ls} > 0$, то $x_{vs}^{(2)} = P_{ls} \operatorname{tg}(\varepsilon_{sk}^{1H})$;

если $\varepsilon_{sk}^{1H} < 90^\circ$, $\varepsilon_{sk}^{2H} > 90^\circ$ и $P_{ls} > 0$, то

$$x_{vs}^{(2)} = P_{ls} \operatorname{tg}(\varepsilon_{sk}^{1H});$$

если $\varepsilon_{sk}^{1H} = 90^\circ$, $\varepsilon_{sk}^{2H} = 90^\circ$ и $P_{ls} > 0$, то

$$x_{vs}^{(2)} = P_{ls} \operatorname{tg}(\varepsilon_{sk}^{1H}) \text{ и } x_{vs}^{(3)} = P_{ls} \operatorname{tg}(\varepsilon_{sk}^{2H});$$

если $\varepsilon_{sk}^{1H} = 90^\circ$, $\varepsilon_{sk}^{2H} = 90^\circ$ и $P_{ls} > 0$, то

$$x_{vs}^{(2)} = P_{ls} \operatorname{tg}(\varepsilon_{sk}^{2H}) \text{ и } x_{vs}^{(3)} = P_{ls} \operatorname{tg}(\varepsilon_{sk}^{1H}).$$

В СК $X_H O_H Y_H$ абсциссы x_{Bxvls} и x_{Bxvls} определяются так:

если $(x_{vs}^{(3)} > x_{\text{Bxvls}} > x_{vs}^{(2)})$ и $(x_{vs}^{(3)} > x_{\text{Bxvls}} > x_{vs}^{(2)})$ –

обстреливаемый участок целиком лежит в запретном секторе и стрельба невозможна;

если $(x_{\text{Bxvls}} > x_{vs}^{(3)} > x_{\text{Bxvls}})$, то $x_{\text{Bxvls}} = x_{vs}^{(3)}$;

если $(x_{vs}^{(3)} > x_{\text{Bxvls}})$ и $(x_{\text{Bxvls}} > x_{vs}^{(2)} > x_{\text{Bxvls}})$, то

$$x_{\text{Bxvls}} = x_{vs}^{(2)}.$$

Величины x_{Bxvls} и x_{Bxvls} в левых частях приведенных соотношений являются абсциссами точек пересечения границ ДЗП, определенных в п. 2, 3.

Используя значения абсцисс точек входа и выхода, полученных по методике, изложенной в п. 1–5, и производя расчеты для каждого ЗОС по каждой группе ПКР, удаления от НК дальней и ближней границ ДЗП могут быть определены, соответственно, как

$$d_{\text{Bxvjl}} = \sqrt{x_{\text{Bxvls}}^2 + P_{ls}^2}; \quad (40)$$

$$d_{\text{Bxvjl}} = \sqrt{x_{\text{Bxvls}}^2 + P_{ls}^2} \quad (v = \overline{1, M_L}; j = \overline{1, J}; s, l = \overline{1, L}), \quad (41)$$

где d_{Bxvjl} , d_{Bxvjl} – удаление дальней и ближней границ ДЗП v -го ЗОС s -го НК при отражении атаки ПКР j -й группы, атакующей l -й НК порядка; M_L – общее количество ЗОС на L кораблях порядка.

Проверка рассмотренных выше условий производится для всех кораблей порядка по отношению к стреляющему кораблю, т. е. для $k = \overline{1, L}$; $k \neq s$.

По аналогии с учетом запретных секторов стрельбы в интересах безопасности соседних кораблей порядка производится учет запретных секторов в интересах обеспечения электромагнитной совместимости средств РЭБ и зенитных огневых средств, а также запретных секторов в интересах обеспечения безопасности наведения истребительной авиации в том случае, когда приоритет в системе ПВО отдается последним, и их работа не совместима с работой зенитных огневых средств.

Оценка границ действующих зон поражения позволяет рассчитывать число стрельб и производить оценку эффективности зенитных огневых средств в системе ПВО порядка надводных кораблей при отражении атак ПКР.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенного имитационного моделирования построения системы противовоздушной обороны для различных по составу ордеров надводных кораблей в различных условиях тактической обстановки с использованием разработанных авторами оптимизационных моделей решения частных задач построения подсистем целераспределения [13], управления режимом готовности ЗОС [14] и общей задачи построения системы ПВО [15] была установлена существенная зависимость критериев эффективности построения указанных подсистем и системы ПВО ордеров надводных кораблей от реализуемых параметров действующих зон.

Принципиально новым является определение гарантированной дальности обнаружения противокорабельных крылатых ракет как квантиля функции распределения непрерывной случайной дальности для заданной вероятности обнаружения. В расчетах уделено внимание степени готовности и режиму работы радиолокационных станций обнаружения, критериям обнаружения, характеристикам ПКР, радиолокационной обстановке, в том числе радиолокационным помехам (активным, пассивным, комбинированным), которые в состоянии создавать противник [18, 19].

Следует отметить, что при оптимизации управления режимом готовности зенитных огневых средств, решения задачи целераспределения ЗОС на этапе построения системы ПВО и оптимизации построения системы ПВО ордеров надводных кораблей в имитационных моделях используются гарантированные дальности обнаружения ПКР, а при решении задачи оптимизации процесса целераспределения зенитных огневых средств в ходе противовоздушного боя в реальном масштабе времени используются отображаемые на экранах РЛС дальности обнаружения атакующих ПКР [20, 21].

Научная новизна проведенного исследования заключается не только в учете гарантированной дальности обнаружения противокорабельных крылатых ракет, но и в учете других рассмотренных ранее и не менее значимых факторов, определяющих границы действующих зон поражения зенитных огневых средств и в конечном счете уровень боеспособности как действующих, так и перспективных кораблей ордера.

Выводы

В соответствии с поставленной целью исследования произведен детальный учет и доказано существенное влияние положения и размеров границ действующих зон поражения зенитных огневых средств в системе противовоздушной обороны на уровень боеспособности ордера надводных кораблей при отражении атак противокорабельных крылатых ракет в различных условиях тактической обстановки.

В результате детального учета направления атак и дальностей обнаружения противокорабельных крылатых ракет в различных условиях помеховой обстановки, собственных зон поражения и секторов

обстрела зенитных огневых средств, рубежей применения оружия и выполнения задач атакующими ПКР, ограничений, связанных с безопасным маневрированием кораблей, электромагнитной совместимостью радиоэлектронных средств, защитой от оружия массового поражения, запретных секторов, обусловленных применением средств радиоэлектронной борьбы и наведением истребительной авиации была достигнута существенная корректность в определении положения и размеров границ действующих зон поражения зенитных огневых средств в системе ПВО ордера надводных кораблей.

Чувствительность параметров действующих зон поражения к регулируемым параметрам построения системы ПВО (пеленгам и дистанциям местоположения кораблей относительно центра ордера) и ограничениям, связанным с безопасным маневрированием кораблей, электромагнитной совместимостью радиоэлектронных средств, защитой от оружия массового поражения, запретным секторам, обусловленным работой средств РЭБ и наведения ИА, позволяет оптимизировать процесс построения системы ПВО ордеров надводных кораблей и решать частные задачи управления режимом готовности и целераспределения зенитных огневых средств, как на этапе планирования боевых действий, так и в ходе противовоздушного боя.

Результаты проведенного имитационного моделирования для различных вариантов атак противокорабельных крылатых ракет с учетом конкретных степеней боевой готовности вооружения, установленного как на действующих кораблях, так и на кораблях перспективных проектов, входящих в состав действующих и перспективных ордеров надводных кораблей, подтверждающие указанные выше выводы, носят закрытый характер и не публикуются в рамках данной статьи.

Как можно утверждать, в работах, посвященных данной тематике, подобного детального анализа границ действующих зон поражения и учета их влияния на уровень боеспособности охраняемых кораблей, в плане постановки задачи и полученных результатов, нет.

Учет действующих зон поражения зенитных огневых средств в моделях функционирования систем ПВО является полезным инструментом для решения двух важных задач:

1. Оценка эффективности построения систем ПВО группировок надводных кораблей вероятного противника (после ввода их тактико-технических характеристик), определения «провалов» в зонах поражения их корабельных зенитных огневых средств, средств радиоэлектронной борьбы, наведения истребительной авиации и последующего использования таких «провалов» для целераспределения своих противокорабельных крылатых ракет по кораблям противника, в том числе с использованием принципа СОИР (missile-to-missilelink), координирующего боевой порядок и целераспределение крылатых ракет.

2. Оценка эффективности построения систем ПВО своих кораблей (в том числе перспективных

проектов), как одиночных, так и в составе соединений, с учетом размещения на кораблях перспективных комплексов ПВО и (или) модернизации старых и использования такой оценки для обоснованного принятия решения по критерию «стоимость – эффективность».

Библиографические ссылки

1. Шлыков А. В., Золотов А. Ю., Карпов А. Ю. Взгляды на ведение ПВО с учетом изменения характера действий СВН на современном этапе // Военная мысль. 2026. № 4. С. 10–17. DOI: 10.88727/0236-2058-2026-4-10-17
2. Евменов Н. А. Характер вооруженной борьбы на море и тенденции ее развития // Военная мысль. 2023. № 12. С. 6–10. DOI:10.88727/0236-2058-2023-12-6-10
3. Неупокоев Ф. К. Стрельба зенитными ракетами. М. : Воениздат, 1991. 343 с.
4. Горев А. Г., Козлов И. Л. Боевые действия на море: выбор и обоснование показателя эффективности // Военная мысль. 2022. № 2. С. 48–54. DOI: 10.88727/0236-2058-2022-2-48-54
5. Антонов Ю. С. Некоторые проблемы оптимизации построения системы вооружения и управление ее элементами в процессе боевых действий // Вестник Академии военных наук. 2005. № 3. С. 128–138.
6. Корабельников А. П., Криницкий Ю. В. Тенденции применения сил и средств воздушного нападения и направления совершенствования ПВО // Военная мысль. 2021. № 2. С. 28–35. DOI:10.88727/0236-2058-2021-2-28-35
7. Солдаткин А. Перспективные решения – задачи совершенствования ЗРК МД // Национальная оборона. 2020. № 9. С. 128–131.
8. Обеспечение стойкости корабельных радиоэлектронных систем / А. Харланов, Л. Попов, И. Кузнецов, А. Жидков // Морской сборник. 2019. № 6. С. 65–68. DOI:10.88727/0236-2058-2019-6-65-68
9. Галий В. А., Букрий В. Н. Определение гарантированной дальности обнаружения низколетящих целей радиолокационными станциями обнаружения надводного корабля // Вопросы оборонной техники. Серия 16. 2021. Вып. (155-156). С. 14–20. DOI: 10.53816/2306-1456-2021-5-14-20
10. Измайлов Роман. Вчера, сегодня и завтра противовоздушной обороны кораблей ВМФ России // Национальная оборона. 2021. № 8. С. 94–101.
11. Горев А. Г., Козлов И. Л. Количественное обоснование решений на основе аналитического моделирования // Военная мысль. 2020. № 7. С. 117–122. DOI:10.88727/0236-2058-2020-7-117-122
12. Антонов Ю. С., Букрий В. Н. Автоматизированное решение задачи целераспределения зенитных огневых средств в контуре ПВО надводного корабля (системе ПВО группы кораблей). СПб. : ВМА, 1993. 38.
13. Галий В. А., Иванищев С. Н., Букрий В. Н. Математическая модель решения задачи целераспределения зенитных огневых средств в контуре ПВО надводного корабля (системе ПВО группы кораблей) при угрозе нападения и при отражении атак противокорабельных крылатых ракет // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2022. Т. 25, № 2. С. 23–33. DOI: 10.22213/2413-1172-2022-2-23-33
14. Галий В. А., Иванищев С. Н., Букрий В. Н. Оптимизация управления режимом готовности зенитных огневых средств в контуре ПВО надводного корабля // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2022. Т. 25, № 1. С. 17–26. DOI: 10.22213/2413-1172-2022-1-17-26
15. Галий В. А., Иванищев С. Н., Букрий В. Н. Оптимизация построения системы противовоздушной обороны ордеров надводных кораблей при угрозе атак противокорабельных крылатых ракет // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 4. С. 25–34. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-4-25-34
16. Colin R. Miller. Electromagnetic Pulse Threats in 2010, Major, USAF, Center for Strategy and Technology Air War College, Air University, 2005, pp. 383-410.
17. Guo J., Zhao Z., Zhou J. Evaluation of Intelligent Air Defense algorithm based on Machine Learning. *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 769 (4), no. 042118. DOI: 10.1088/1755-1315/769/4/042118
18. Hampton B. Weapons Systems: *Background and Issues for Congress*. 2018, pp. 1-259.
19. Kousalya B., Vasanthi T. Protection of k-out-of-n systems under intentional attacks using imperfect false elements. *International Journal of Perfor Mability Engineering*, 2013, no. 9 (5), pp. 529-537.
20. Бычков В., Дорофеев И. Информационное обеспечение и целеуказание высокоточному оружию // Морской сборник. 2025. № 6. С. 73–78. DOI: 10.88727/0236-2058-2025-6-73-78
21. Макаренко С. И., Старостин А. В. Противовоздушная оборона страны от ударов беспилотных летательных аппаратов и крылатых ракет: новые угрозы, проблемные вопросы, технико-экономический анализ вариантов архитектуры // Системы управления, связи и безопасности. 2024. № 2. С. 86–148. DOI: 10.24412/2410-9916-2024-2-086-148

References

1. Shlykov A.V., Zolotov A.Yu., Karpov A.Yu. (2026) [Views on the Conduct of Air Defense, Considering Changes in the Nature of Air Attack Weapons Operations at the Present Stage]. *Voennaya Mysl'*, no 4, pp. 10-17. DOI: 10.88727/0236-2058-2026-4-10-17 (in Russ.).
2. Evmenov N.A. (2023) [The nature of armed struggle at sea and its development trends]. *Voennaya mysl*, no 12, pp. 6-10. DOI: 10.88727/0236-2058-2023-12-6-10 (in Russ.).
3. Neupokoev F.K. (1991) *Strel'ba Zenitnymi Raketami* [Anti-Aircraft Missile Shooting]. Moscow: Voениzdat, 343 p. (in Russ.).
4. Gorev A.G., Kozlov I.L. (2022) [Naval Warfare: Choosing and Justifying an Efficiency Indicator]. *Voennaya Mysl'*, no. 2, pp. 48-54. DOI: 10.88727/0236-2058-2022-2-48-54 (in Russ.).
5. Antonov Yu.S. (2005) [Some problems of optimizing of building of weapon system and controlling its elements in process of combat operations]. *Vestnik Akademii Voennykh Nauk*, no. 3, pp. 128-138 (in Russ.).
6. Korabel'nikov A.P., Krinitskii Yu.V. (2021) [The trends in the use of air attack forces and means and air defense improvement lines]. *Voennaya Mysl'*, 2021, no. 2, pp. 28-35. DOI: 10.88727/0236-2058-2021-2-28-35 (in Russ.).
7. Soldatkin A. (2020) [Promising solutions - the tasks of improving AMS of SR]. *Natsional'naya Oborona*, no. 9, pp. 128-131 (in Russ.).
8. Kharlanov A., Popov L., Kuznetsov I., Zhidkov A. (2019) [Stability providing of shipboard electronic systems]. *Morskoi Sbornik*, no. 6, pp. 65-68. DOI: 10.88727/0236-2058-2019-6-65-68 (in Russ.).
9. Galiy V.A., Bukriy V.N. (2021) [Determination of guaranteed range of low-flying targets detection by radar stations of surface ship detection]. *Questions of defense technics, series 16*, no. 155-156, pp. 14-20. DOI: 10.53816/2306-1456-2021-5-14-20 (in Russ.).

10. Izmailov R. (2021) [Yesterday, today and tomorrow of air defense of RN ships]. *Natsional'naya Oborona*, no. 8, pp. 94-101 (in Russ.).

11. Gorev A.G., Kozlov I.L. (2020) [Quantitative justification of decisions based on analytical modeling]. *Voennaya Mysl'*, no. 7, pp. 117-122. DOI: 10.88727/0236-2058-2020-7-117-122 (in Russ.).

12. Antonov Yu.S., Bukrii V.N. (1993) [Automated target allocation task solution of antiaircraft fire weapons in antiaircraft defense (AD) contour of surface ship (in AD system of ships group)]. *VMA*, 38 p. (in Russ.).

13. Galiy V.A., Ivanishev S.N., Bukriy V.N. (2022) [Mathematical model for solving problem of target allocation of antiaircraft fire weapons in ad contour of surface ship (in AD system of group of ships) in case of attack threat and repelling attacks of anti-ship cruise missiles]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, vol. 25, no. 2, pp. 23-33. DOI: 10.22213/2413-1172-2022-2-23-33 (in Russ.).

14. Galiy V.A., Ivanishev S.N., Bukriy V.N. (2022) [Control optimization of readiness mode of antiaircraft fire weapons in antiaircraft fire covering system of surface ships formation in case of attack threat of anti-ship cruise missiles]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, vol. 25, no. 1, pp. 17-26. DOI: 10.22213/2413-1172-2022-1-17-26 (in Russ.).

15. Galiy V.A., Ivanishev S.N., Bukriy V.N. (2021) [Optimization basics of antiaircraft defense system building of

surface ships formation in case of anti-ship missiles attacks threat]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, vol. 24, no. 4, pp. 25-34. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-4-25-34 (in Russ.).

16. Colin R. Miller (2005) Electromagnetic Pulse Threats in 2010, Major, USAF, Center for Strategy and Technology Air War College, Air University, pp. 383-410.

17. Guo J., Zhao Z., Zhou J. (2021) Evaluation of Intelligent Air Defense algorithm based on Machine Learning. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 769 (4), no. 042118. DOI: 10.1088/1755-1315/769/4/042118

18. Hampton B. (2018) Weapons Systems: *Background and Issues for Congress*, pp. 1-259.

19. Kousalya B., Vasanthi T. (2013) Protection of k-out-of-n systems under intentional attacks using imperfect false elements. *International Journal of Performability Engineering*, no. 9 (5), pp. 529-537.

20. Bychov V., Dorofeyev I. (2025) [Information Support and Targeting of High-precision Weapons]. *Morskoi Sbornik*, no 6, pp. 73-81. DOI: 10.88727/0236-2058-2025-6-73-78 (in Russ.).

21. Makarenko S.I., Starostin A.V. (2024) [Country's air defense system against strikes with unmanned aerial vehicles and cruise missiles: new threats, problematic issues, technical and economic analysis of architecture variants]. *Systems of Control, Communication and Security*, no 2, pp. 86-148. DOI: 10.24412/2410-9916-2024-2-086-148 (in Russ.).

Defining the Boundaries of the Active Zones of Destruction of Anti-Aircraft Firepower in the Surface Ship's Air Defense System when Repelling Attacks by Anti-Ship Cruise Missiles

V.A. Galiy, PhD in Engineering, Associate Professor, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

S.N. Ivanishev, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

V.N. Bukriy, PhD in Engineering, Sevastopol, Russia

The proposed study is aimed at determining the boundaries of the active destruction zones of anti-aircraft fire power in the air defense system of surface ships when repelling attacks by anti-ship cruise missiles. The purpose of the study was to determine the boundaries of the anti-aircraft fire effective zones in the air defense system and taking into account their impact on the combat capability of the surface ship order when repelling attacks by anti-ship cruise missiles in various tactical conditions. The scientific novelty of the study lies in the detailed consideration of the own destruction zones parameters of anti-aircraft fire weapons, ranges of detection, attack directions, and task fulfillment boundaries for attacking anti-ship cruise missiles, coordination of own hit zones and firing sectors, forbidden firing sectors in the interests of the safety of neighboring ships in the order, as well as prohibited sectors caused by electromagnetic compatibility (EMC) violations of electronic warfare (EW) equipment and anti-aircraft fire weapons, security measures for guiding fighter aircraft, and taking into account the impact of all these parameters on the combat capability of both existing and future ships in the order. Knowing the boundaries of the active kill zones allows you to calculate the number of firings and evaluate the effectiveness of anti-aircraft firing when repelling attacks by anti-ship cruise missiles, to solve the problems of optimizing the readiness mode and target allocation of anti-aircraft weapons, tasks of optimizing the air defense system of a squadron of surface ships when repelling attacks by anti-ship cruise missiles, both during the planning stage of military operations and during air combat. The results of simulation modeling published in classified publications and conducted with specific weapons in mind, installed on both existing ships and ships of advanced projects, it has been fully confirmed that incorrect accounting or ignoring the boundaries of the effective zones of anti-aircraft fire weapons in the ship (or ship formations) air defense system when repelling attacks by anti-ship cruise missiles do not allow to fully realize the combat capabilities of the contour (system) of air defense and leads to the loss of combat capability of the ship (order of ships).

Keywords: anti-ship cruise missile, anti-aircraft firearm, own kill zone, the current kill zone, boundary of the task, forbidden firing area.

Получено 17.03.2026

Образец цитирования

Галий В. А., Иванисhev С. Н., Букрий В. Н. Определение границ действующих зон поражения зенитных огневых средств в системе противовоздушной обороны ордера надводных кораблей при отражении атак противокорабельных крылатых ракет // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2026. Т. 29, № 2. С. 68–78. DOI: 10.22213/2413-1172-2026-2-68-78

For Citation

Galiy V.A., Ivanishev S.N., Bukriy V.N. (2026) [Defining the Boundaries of the Active Zones of Destruction of Anti-Aircraft Firepower in the Surface Ship's Air Defense System when Repelling Attacks by Anti-Ship Cruise Missiles]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, vol. 29, no. 2, pp. 68-78. DOI: 10.22213/2413-1172-2026-2-68-78 (in Russ.).