

УДК: 623.765.4

DOI: 10.53816/23061456_2022_3-4_72

**ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ ГОТОВНОСТИ
ЗЕНИТНЫХ ОГНЕВЫХ СРЕДСТВ В СИСТЕМЕ ЗЕНИТНОГО ОГНЕВОГО
ПРИКРЫТИЯ ОРДЕРА НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ ПРИ УГРОЗЕ АТАК
ПРОТИВОКОРАБЕЛЬНЫХ КРЫЛАТЫХ РАКЕТ**

**CONTROL OPTIMIZATION OF READINESS MODE OF ANTI-AIRCRAFT FIRE
WEAPONS IN ANTI-AIRCRAFT FIRE COVERING SYSTEM OF SURFACE SHIPS
FORMATION IN CASE OF ATTACK THREAT OF ANTI-SHIP CRUISE MISSILES**

Канд. техн. наук В.А. Галий, С.Н. Иванищев, канд. техн. наук В.Н. Букрий

Ph.D. V.A. Galiy, S.N. Ivanishev, Ph.D. V.N. Bukriy

Севастопольский государственный университет

В настоящее время определяющим в развитии теории военного искусства стал факт перехода к созданию и применению противником на море высокоточного оружия большой дальности — противокорабельных крылатых ракет (ПКР), что позволяет поражать корабли с удаленных рубежей без входа в зону действия истребительной авиации (ИА) и досягаемости зенитных ракетных комплексов (ЗРК) [1].

В статье предлагается решение задачи по оптимизации управления режимом готовности зенитных огневых средств (ЗОС) в системе зенитного огневого прикрытия ордера надводных кораблей при угрозе атак противокорабельных крылатых ракет. Полученные результаты позволят обосновать целесообразный режим готовности ЗОС, а также выработать рекомендации для установления графика дежурства ЗОС по противовоздушной обороне (ПВО).

Ключевые слова: противовоздушная оборона, противокорабельная крылатая ракета, поле векторов потенциалов поражения (ПП), график дежурства ЗОС, действующая зона поражения (ДЗП), режим готовности ЗОС, боевая готовность (БГ).

Currently, the decisive factor in the development of the theory of military art is the fact of the transition to the creation and use of precision-guided long-range munition by the enemy in the sea — anti-ship missiles (AShM), which makes it possible to destroy ships from remote lines without entering the zone of the fighter aircraft (FA) action and reach of anti-aircraft missile system (AMS) [1].

The article proposes a problem solution of the control optimization of the AFW readiness mode in the anti-aircraft fire covering system (AFCS) of the surface ships formation in the case of the attack threat of the anti-ship cruise missiles.

The obtained results will make it possible to substantiate an expedient mode of AFW readiness and also to create the recommendations for setting the AFW duty schedule for anti-aircraft defense (AD).

Keywords: anti-aircraft defense, anti-ship cruise missiles, vector field of effective potential (EP), AFW duty schedule, effective affected area (EAA), readiness mode of AFW, readiness for combat (RC).

Возможность нанесения ударов ПКР одновременно с нескольких направлений, на предельно малых высотах создает большие трудности для эффективного функционирования системы зенитного огневого прикрития (ЗОП) ордера надводных кораблей ВМФ, в том числе для управления режимом готовности зенитных огневых средств (ЗОС) [2].

Упорядоченное чередование различных степеней готовности к стрельбе ЗОС, а именно БГ № 1 («боевая тревога») и БГ № 2 («походная»), называется режимом готовности.

Поскольку управление режимом готовности ЗОС ордера надводных кораблей (НК) преследует обеспечение боевой устойчивости охраняемых кораблей, то главными критериями качества управления режимом готовности будут:

1. При угрозе атаки ПКР с одного или нескольких направлений — а) вероятность не поражения одиночного охраняемого НК, или — б) математическое ожидание (МО) числа не пораженных кораблей из состава группы охраняемых НК;

2. При угрозе атак ПКР с разных направлений, когда направления атак ПКР неизвестны (построение равнопрочной системы ЗОП) — главные критерии, характеризующие поле векторов потенциалов поражения (ПП), создаваемое в интересах каждого из охраняемых кораблей.

Поскольку в дежурстве по ПВО как на отдельном корабле, так и в ордере НК могут находиться ЗОС различных типов, постольку в задаче обоснования управления режимом готовности достаточно полной характеристикой, а значит, и целевой функцией, может служить суммарный потенциал поражения средств воздушного нападения (СВН) ЗОС при условии оптимального (рационального) построения системы ЗОП ордера НК [3], т.е. выражение вида

$$G = \mu = \sum_{(i)} m_i p_i. \quad (1)$$

Число стрельб каждого комплекса m_i зависит от установленного режима готовности, т.е.

$$m_i = m(t_{1i}, t_{2i}, \text{техническая надежность } i\text{-го комплекса}),$$

где t_{1i} и t_{2i} — время пребывания i -го комплекса в боевой готовности № 1 и боевой готовности № 2.

Обозначим:

– m_{1i} — число стрельб i -го ЗОС по потоку СВН из состояния БГ № 1;

– m_{2i} — число стрельб i -го ЗОС по потоку СВН из состояния БГ № 2.

Тогда МО числа стрельб комплекса по потоку СВН с учетом его различной готовности и технической надежности определяется:

$$m_i = m_{1i} P\{m_{1i}\} + m_{2i} P\{m_{2i}\},$$

где $P\{m_{1i}\}$ — вероятность исправного состояния i -го комплекса в период БГ № 1, т.е. вероятность того, что i -й комплекс, находясь в состоянии БГ № 1, способен по технической надежности выполнить m_{1i} стрельб по потоку СВН;

$P\{m_{2i}\}$ — вероятность исправного состояния i -го комплекса в период БГ № 2, т.е. вероятность того, что i -й комплекс, находясь в состоянии БГ № 2, способен по технической надежности выполнить m_{2i} стрельб по потоку СВН.

Тогда выражение (1) примет вид

$$G = \mu = \sum_i p_i \cdot [m_{1i} \cdot P\{m_{1i}\} + m_{2i} \cdot P\{m_{2i}\}]. \quad (2)$$

Множество допустимых решений (2) есть множество ЗОС, необходимое для отражения атак СВН с требуемой эффективностью.

Наряду с этим, для обоснования графика дежурства зенитных огневых средств должны учитываться:

– соотношения максимально допустимого времени приведения каждого ЗОС в готовность к приему целеуказаний (ЦУ), обеспечивающего обстрел ПКР на дальних границах ДЗП, и располагаемого времени перевода комплекса из БГ № 2 в БГ № 1;

– периоды времени, в течение которых наиболее вероятно нанесение противником ударов ПКР (на основании данных разведки и прогноза развития тактической обстановки).

Из приведенных соображений следует, что задача управления режимом готовности ЗОС распадается на три составляющие:

– обоснование режима готовности для каждого комплекса, обеспечивающего максимизацию целевой функции, т.е. математического ожидания числа стрельб по потоку СВН с учетом технической надежности;

– обоснование максимально допустимого времени перевода ЗОС в готовность к приему

ЦУ, обеспечивающего обстрел ПКР на дальних границах действующих зон поражения;

– обоснование графика дежурства ЗОС по ПВО.

С этой целью решаются задачи:

1. Обоснование целесообразного режима готовности ЗОС; 2. Обоснование максимально допустимого времени перевода ЗОС в готовность к приему ЦУ;

3. Выработка рекомендаций для установления графика дежурства ЗОС по ПВО.

Основные ключевые моменты решения поставленных задач, с учетом ограниченных

размеров публикуемой статьи, приводятся ниже.

Задача 1. Обоснование целесообразного режима готовности зенитного комплекса.

Суть рассматриваемой задачи состоит в выборе таких значений времени пребывания в БГ № 1 — t_1 и времени пребывания в БГ № 2 — t_2 , при которой для заданных характеристик надежности целевая функция $G = m = m_1 P\{m_1\} + m_2 P\{m_2\}$ обратится в max.

Как показано в [4], число стрельб, выполняемых комплексом из состояния БГ № 1 и БГ № 2 определяются выражениями:

$$m_1 = \sum_{k=1}^{K_{ц}} \left\{ \frac{1}{\ln(1+\gamma)} \right\} \cdot \ln \left[\left(\frac{d^{\wedge} - V_{ц} \cdot t_{раб1} - (k-1)V_{ц}(2\tau_{п} - t_a) + V_p(1+\gamma)(T - k_{ц} \cdot t_a)}{d_{вых} + V_p(T - k_{ц} \cdot t_a)} \right) \right];$$

$$m_2 = \sum_{k=1}^{K_{ц}} \left\{ \frac{1}{\ln(1+\gamma)} \right\} \cdot \ln \left[\left(\frac{d^{\wedge} - V_{ц} \cdot t_{раб2} - (k-1)V_{ц}(2\tau_{п} - t_a) + V_p(1+\gamma)(T - k_{ц} \cdot t_a)}{d_{вых} + V_p(T - k_{ц} \cdot t_a)} \right) \right];$$

$$d^{\wedge} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{d_{ор} - V_{ц} \cdot t_{раб(2)}}{1+\gamma} \text{ при } d_{ор} < d_{вых}(1+\gamma) + V_{ц} \cdot t_{раб(2)} \\ d_{вых}, \text{ при } d_{ор} \geq d_{вых}(1+\gamma) + V_{ц} \cdot t_{раб(2)} \end{array} \right\},$$

где $d_{ор}$ — гарантированная дальность обнаружения ПКР [5];

$V_{ц}$ — скорость ПКР;

V_p — скорость зенитной управляемой ракеты (ЗУР);

$$\gamma = V_{ц} \cdot (V_p)^{-1};$$

$K_{ц}$ — количество целевых каналов ЗОС;

$d_{вых}, d_{вых}$ — удаление дальней и ближней границ ДЗП ЗОС [6];

t_a — временной интервал между ПКР;

$\tau_{п}$ — интервал пуска ЗУР;

$t_{раб}$ — рабочее время по подготовке и производству первого залпа ЗУР;

$$T = T_{раб} + t_{исх} + t_{зур};$$

$T_{раб}$ — рабочее время по подготовке и производству второго и последующих залпов ЗУР;

$t_{исх}$ — время приведения зенитного ракетного комплекса (ЗРК) в готовность к приему ЦУ;

$t_{зур}$ — интервал времени между разрывами первой и последней ЗУР в районе цели;

$$t_{раб1} = t_{прц} + \max\{t_{подг}; t_{пп}\} + t_{ст};$$

$$t_{раб2} = t_{прц} + t_{гот} + \max\{t_{подг}; t_{пп}\} + t_{ст};$$

$t_{подг}$ — работное время зенитной батареи по подготовке пуска;

$t_{пп}$ — время предстартовой подготовки ЗУР;

$t_{ст}$ — время от нажатия кнопки «Пуск» до схода первой ЗУР;

$t_{гот}$ — время перевода комплекса из БГ № 2 в БГ № 1.

Пусть режим готовности есть упорядоченное чередование циклов готовности, каждый из которых представлен временем пребывания в БГ № 1 — t_1 и временем пребывания в БГ № 2 — t_2 , т.е. $t_{ц} = t_1 + t_2$.

Предположим, что момент появления цели, а значит, и момент выдачи ЦУ комплексу равно возможны в течение цикла $t_{ц}$.

Обозначим dp — вероятность появления цели в промежутке времени dt . Тогда в соответствии с принятым предположением

$$dp = \frac{1}{t_{ц}} \cdot dt.$$

Вероятность того, что при появлении цели комплекс исправен и готов к ЦУ, есть:

$P_1(t)dp$ — если он находится в БГ № 1;

$P_2(t)dp$ — если он находится в БГ № 2, где $P_1(t)$ и $P_2(t)$ — вероятности того, что комплекс, находящийся соответственно в БГ № 1 и БГ № 2, готов к открытию огня (к обстрелу целей) в момент времени t , т.е. находится в исправном техническом состоянии.

Вследствие этого, вероятности выполнения m_1 стрельб в интервале $[0, t_1]$, т.е. во время БГ № 1 и m_2 стрельб в интервале $[t_1; t_1 + t_2]$, т.е. во время БГ № 2 соответственно определяются:

$$P\{m_1\} = \int_0^{t_1} P_1(t)dp = \frac{1}{t_u} \int_0^{t_1} P_1(t)dt;$$

$$P\{m_2\} = \int_{t_1}^{t_1+t_2} P_2(t)dp = \frac{1}{t_u} \int_{t_1}^{t_1+t_2} P_2(t)dt.$$

Тогда целевая функция примет вид:

$$\begin{aligned} G = \bar{m} &= m_1 P\{m_1\} + m_2 P\{m_2\} = \\ &= \frac{m_1}{t_u} \int_0^{t_1} P_1(t)dt + \frac{m_2}{t_u} \int_{t_1}^{t_1+t_2} P_2(t)dt. \end{aligned}$$

Для удобства преобразуем целевую функцию, разделив обе части последнего равенства на m_1 и обозначив:

$$\frac{\bar{m}}{m_1} = k \text{ и } \frac{m_2}{m_1} = k'$$

получим:

$$k = \frac{1}{t_u} \int_0^{t_1} P_1(t)dt + k' \frac{1}{t_u} \int_{t_1}^{t_1+t_2} P_2(t)dt. \quad (3)$$

Из последнего выражения следует, что при

$$k' = P_1(t) = P_2(t) = 0; k = 0,$$

а при

$$k' = P_1(t) = P_2(t) = 1; k = 1,$$

т.е.

$$0 \leq k \leq 1.$$

и означает возможное снижение числа стрельб комплекса из БГ № 2 за счет снижения технической надежности комплекса и несвоевременности обнаружения СВН. При достаточно малой дальности обнаружения СВН, т.е. когда дальняя граница действующей зоны поражения комплекса совпадает с ближней, число его стрельб из положения походной готовности $m_2 = 0$, и в этом случае $k' = 1$.

Таким образом, $0 \leq k' \leq 1$ и определяет возможное снижение числа стрельб комплекса из положения походной готовности за счет несвоевременности обнаружения воздушных целей.

Пусть

$$P_{r1} = \frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} P_1(t)dt \text{ — средняя вероятность исправного состояния комплекса в период боевой готовности } [0; t_1];$$

правного состояния комплекса в период боевой готовности $[0; t_1]$;

$$P_{r2} = \frac{1}{t_2} \int_{t_1}^{t_1+t_2} P_2(t)dt \text{ — средняя вероятность исправного состояния комплекса в период походной готовности } [t_1; t_1 + t_2].$$

Для вывода формул средней вероятности исправного состояния комплекса в период БГ № 1 и БГ № 2 использован метод, предложенный Г.Г. Абезгаузом. Принимается, что случайное время между двумя последовательными отказами и случайное время восстановления комплекса после отказа имеют распределение Вейбулла с параметрами λ , и μ соответственно.

Тогда выражение (3) запишется в виде

$$G = k = \frac{t_1}{t_u} \cdot P_{r1} + k' \frac{t_2}{t_u} \cdot P_{r2}. \quad (4)$$

Подробный вывод формулы (4) приведен в работе Антонова Ю.С. «Теоретические основы построения системы зенитного огневого прикрытия соединения надводных кораблей в интересах противоракетной обороны».

Из этого выражения следует, что задача определения целесообразного режима готовности состоит в определении значений t_1 и t_2 из множества возможных значений $\{T\} = \{t_u\}$, обращающих в максимум целевую функцию k .

Вероятность безотказного функционирования ЗОС в момент времени t при условии

его безотказного включения определяется выражением:

$$P_1(t) = P_{\text{вк}} \cdot \dot{P}_1(t) + (1 - P_{\text{вк}}) \cdot \ddot{P}_1(t),$$

где $P_{\text{вк}}$ — вероятность безотказного включения ЗОС;

$\dot{P}_1(t)$ — вероятность безотказного функционирования ЗОС в момент времени t при условии его безотказного включения;

$\ddot{P}_1(t)$ — вероятность безотказного функционирования в момент времени t при условии отказа в момент включения;

t — момент обнаружения цели (момент выдачи ЦУ).

$$\begin{aligned} \dot{P}_1(t) &= \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot \exp\{-(\lambda + \mu) \cdot t^a\} = \\ &= k_{\text{огр}} \cdot \left[1 + \frac{\lambda}{\mu} \cdot \exp\left(\frac{\mu t^a}{k_{\text{огр}}}\right) \right], \end{aligned}$$

где

$$k_{\text{огр}} = \frac{\mu}{\lambda + \mu};$$

$$\begin{aligned} \ddot{P}_1(t) &= \frac{\mu}{\lambda + \mu} \cdot [1 + \exp\{-(\lambda + \mu) \cdot t^a\}] = \\ &= k_{\text{огр}} \cdot \left[1 + \exp\left(\frac{\mu t^a}{k_{\text{огр}}}\right) \right]. \end{aligned}$$

Задача определения оптимального (рационального) режима готовности ЗОС заключается в следующем: требуется выбрать продолжительность периодов t_1 и t_2 так, чтобы с учетом ограничений $t_1 \leq T_1$, $t_2 \geq T_2$, $t_1, t_2 \geq 0$ и заданных $P_{\text{вк}}$, k , α , λ , μ коэффициент k (4) принял максимальное (экстремальное) значение. Аналитический путь решения этой задачи приводит к сложным трансцендентным уравнениям.

Поэтому целесообразно использовать численные методы. С этой целью использован метод покоординатного спуска (метод Гаусса-Зайделя).

Проведенные исследования показали, что:

1. Функция (4) является гладкой и уни-модальной, а процесс спуска по координатам (с учетом знака) сходится к минимуму.

2. Характерными для обнаружения низколетящей цели (НЛЦ) (даже в беспомеховой обстановке) являются условия, когда система обнаружения воздушных целей не обеспечивает своев-

ременного перевода ЗОС из походного режима в готовность к стрельбе. В этом случае $k' = 0$ и рациональный режим готовности характеризуется следующими величинами: $t_1 = T_1$, $t_2 = T_2$, $t_{\text{ц}} = t_1 + t_2$.

После определения рационального режима готовности для каждого отдельного комплекса переходим к решению второй задачи.

Задача 2. Обоснование максимально допустимого времени перевода комплекса в готовность к приему ЦУ.

Поставленная задача формулируется в виде: определить для ν -го ЗОС максимально допустимое время приведения его в готовность к приему ЦУ — $t_{\text{гот}\nu}^0$, при котором обеспечивается обстрел первых ПКР атакующих групп на дальней границе ДЗП.

Для расчета величины $t_{\text{гот}}^0$ необходимо знать максимальную гарантированную дальность обнаружения каждой из J атакующих групп ПКР радиолокационными станциями (РЛС) обнаружения ордера НК — $d_{\text{max}j}$ [7]. Тогда гарантированная дальность обнаружения ПКР, отсчитываемая от s -го корабля, определяется:

$$\begin{aligned} d_{\text{огр}sj\text{max}} &= \\ &= \sqrt{(d'_{\text{max}j})^2 + d_s^2 - 2 \cdot d'_{\text{max}j} \cdot d_s \cdot \cos(\alpha_{js})}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $d_{\text{огр}sj\text{max}}$ — гарантированная дальность обнаружения от s -го НК до ПКР j -й группы;

d_s — удаление s -го НК от центра ордера (ЦО);

$$\alpha_{js} = \left| \Pi_{\text{обн}j} - \Pi_s \right|;$$

$\Pi_{\text{обн}j}$ — пеленг обнаружения ПКР j -й группы от ЦО;

$$\Pi_s \text{ — пеленг } s\text{-го НК от ЦО.}$$

Принимается, что дальность, рассчитанная по формуле (5), соответствует гарантированной дальности от s -го НК до ПКР j -й группы на момент начала оповещения кораблей ордера об обнаружении ПКР.

Максимальная реализуемая дальность стрельбы ν -го ЗОС s -го НК по ПКР j -й группы, атакующей l -й охраняемый корабль, с учетом времени оповещения — $t_{\text{оп}}$, времени объявления боевой тревоги — $t_{\text{отр}}$ и времени приведения комплекса в готовность к приему ЦУ — $t_{\text{гот}}$ определяется:

$$d_{\text{стрvj}} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{d_{\text{орсj max}} - V_{\text{цj}}^{\wedge} (t_{\text{рабv}} + t_{\text{оп}} + t_{\text{бр}} + t_{\text{готvj}})}{1 + Y_{\text{vj}}}, \\ \text{при } d_{\text{орсj max}} < d_{\text{max v}} (1 + Y_{\text{vj}}) + V_{\text{цj}}^{\wedge} (t_{\text{рабv}} + t_{\text{оп}} + t_{\text{бр}} + t_{\text{готvj}}); \\ d_{\text{max v}}, \\ \text{при } d_{\text{орсj max}} \geq d_{\text{max v}} (1 + Y_{\text{vj}}) + V_{\text{цj}}^{\wedge} (t_{\text{рабv}} + t_{\text{оп}} + t_{\text{бр}} + t_{\text{готvj}}) \end{array} \right\}, \quad (6)$$

где $t_{\text{готvj}l}$ — максимально допустимое время приведения в готовность к приему ЦУ v -го ЗОС для обстрела ПКР j -й группы, атакующих l -й НК, при котором обеспечивается встреча первой ПКР на дальней границе действующей зоны поражения:

$$Y_{\text{vj}} = \frac{V_{\text{цj}}}{V_{\text{pv}}}.$$

В формуле (6) значение $V_{\text{цj}}^{\wedge}$ — приведенной скорости цели — определяется в соответствии с выражением:

$$V_{\text{цj}}^{\wedge} = \frac{(d_{\text{орсj max}} - d_{\text{выхvj}l}) \cdot V_{\text{цj}}}{\sqrt{d_{\text{орсj max}}^2 - P_{\text{ls}}^2} - \sqrt{d_{\text{выхvj}l}^2 - P_{\text{ls}}^2}},$$

$$(v = \overline{1, M_l}); (j = \overline{1, J}); (s, l = \overline{1, L}),$$

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

P_{ls} — курсовой параметр относительно s -го корабля ПКР, атакующих l -й корабль;

M_l — общее количество ЗОС на L кораблях.

Принимая во внимание возможность получения информации об обнаружении атаки ПКР как по каналу оповещения, так и от собственных средств обнаружения НК, в соответствии с (6):

$$\frac{\max[d_{\text{орсj max}} - V_{\text{цj}}^{\wedge} * t_{\text{оп}}; d_{\text{орсj}}] - V_{\text{цj}}^{\wedge} * (t_{\text{рабv}} + t_{\text{бр}} + t_{\text{готvj}})}{1 + Y_{\text{vj}}} > d_{\text{выхvj}l}.$$

Тогда условие, при котором установленная боевая готовность v -го ЗОС s -го НК обеспечит обстрел ПКР j -й группы, атакующих l -й корабль, на дальней границе ДЗП, может быть записано в виде

$$t_{\text{готvj}l} < \frac{\max[d_{\text{орсj max}} - V_{\text{цj}}^{\wedge} * t_{\text{оп}}; d_{\text{орсj}}] - d_{\text{выхvj}l} * (1 + Y_{\text{vj}})}{V_{\text{цj}}^{\wedge}} - (t_{\text{рабv}} + t_{\text{бр}})$$

или окончательно:

$$t_{\text{готv}} < t_{\text{готv}}^0 = \min_{(j,l)} \{t_{\text{готvj}l}\}, (j = \overline{1, J}), (l = \overline{1, L}), \quad (7)$$

где J — количество групп ПКР;

L — количество атакуемых НК;

$t_{\text{готv}}^0$ — максимально допустимое время приведения в готовность к приему ЦУ v -го ЗОС для обстрела первых ПКР атакующих групп на дальних границах ДЗП.

Нарушение условия (7) отражает тот факт, что при ограниченных дальностях обнаружения

ПКР РЛС кораблей ордера v -е ЗОС не успевает их обстрелять и потому должно быть переведено в БГ № 1 заблаговременно, т.е. до обнаружения первых ПКР атакующих групп.

Задача 3. Выработка рекомендаций для установления графика дежурства ЗОС.

В качестве целевой функции в этой задаче может быть выбран главный критерий эффективности построения системы ЗОП ордера НК, как при угрозе атаки ПКР с одного или нескольких направлений — 1-й вариант решения задачи, так и в случае, когда направления

атак ПКР неизвестны, — 2-й вариант решения задачи.

Максимум целевой функции достигается при условии оптимального (рационального) варианта построения системы ЗОП ордера [8], что обеспечивает максимально возможный в данных условиях уровень боевой устойчивости охраняемых кораблей.

График дежурства ЗОС по ПВО должен обеспечить в угрожаемый период своевременный перевод в БГ № 1 зенитных комплексов, принимающих непосредственное участие в отражении атак ПКР.

При этом для каждого ЗОС решающее значение имеет соотношение максимально допустимого времени перевода комплекса в готовность к приему ЦУ и располагаемого времени перевода его из БГ № 2 в БГ № 1, а именно:

– если максимально допустимое время перевода ЗОС в готовность к приему ЦУ превышает время перевода его из БГ № 2 в БГ № 1, то комплекс может находиться в БГ № 2;

– если максимально допустимое время перевода ЗОС в готовность к приему ЦУ меньше или равно времени его перевода из БГ № 2 в БГ № 1, то комплекс должен находиться в БГ № 1.

Суммарный потенциал поражения средств воздушного нападения дежурных ЗОС ордера кораблей [9] не может быть использован в качестве целевой функции при обосновании графика дежурства ЗОС по ПВО, поскольку, во-первых, не полностью определяет значение главного критерия эффективности построения системы ЗОП, и в частности, распределение потенциала поражения по направлениям, а во-вторых, связан с определяемым заранее, исходя из тактических соображений, уровнем главного критерия эффективности, который зачастую для располагаемого состава сил и средств ордера может оказаться либо недостижимым, либо неоправданно заниженным по сравнению с оптимальным (рациональным) вариантом построения системы ЗОП.

Если условия боевой обстановки требуют изменения выработанного режима боевой готовности ЗОС в сторону нежелательного сокращения времени их пребывания в походной готовности или при выходе последних из строя, необходимо определить новое оптимальное (рациональное) построение системы ЗОП, а в случае такой возможности — требуемый состав и местоположе-

ние кораблей (самолетов) радиолокационного дозора [10], обеспечивающих наращивание радиолокационного поля на угрожаемых направлениях.

При обнаружении воздушного противника все без исключения комплексы, пребывающие в БГ № 2, должны быть переведены в высшую степень боевой готовности — БГ № 1.

Следует отметить, что по такому же принципу осуществляется оптимизация управления режимом готовности дежурных ЗОС кораблей в повседневных условиях [11]. При этом существенное увеличение максимально допустимого времени перевода ЗОС в БГ № 1 за счет наращивания радиолокационного поля системами ПВО частей и соединений сухопутных войск и систем ПВО территорий и наземных объектов позволяет значительную часть зенитных комплексов держать в «холодном» состоянии и только незначительную их часть в БГ № 2. Это дает возможность в случае угрозы воздушного нападения своевременно переводить в высшую степень боевой готовности все ЗОС соединения кораблей.

Оптимизация управления режимом готовности зенитных огневых средств является необходимым условием оптимизации построения системы зенитного огневого прикрытия и системы ПВО ордера надводных кораблей в целом при угрозе атак противокорабельных крылатых ракет.

Предлагаемая математическая модель и разработанные на ее основе алгоритм и программа могут быть рекомендованы для включения как в системы автоматизированного боевого управления, так и в боевые информационно-управляющие системы соединений надводных кораблей и одиночных кораблей соответственно. При этом техническое отставание в развитии средств ПВО возможно в определенной степени компенсировать новыми тактическими приемами и организацией борьбы с противокорабельными крылатыми ракетами.

Литература

1. Корабельников А.Л., Криницкий Ю.В. Тенденции применения сил и средств воздушно-го нападения и направлений совершенствования ПВО // Военная мысль. 2021. № 2. С. 28–35.
2. Байбаков В.Н. Формирование системы ПВО надводных кораблей // Военно-промышленный курьер. 2006. № 33 (149). 10 с.

3. Букрий В.Н. Обоснование параметров построения корабельного ордера, обеспечивающего реализацию максимальных боевых возможностей зенитных огневых средств в системе противоракетной обороны. — СПб.: ВМА, 1994. 3 с.

4. Антонов Ю.С. и др. Автоматизированное решение задачи целераспределения зенитных огневых средств в контуре ПВО надводного корабля (системе ПВО группы кораблей). — СПб.: ВМА, 1993. 38 с.

5. Букрий В.Н. Методика расчета гарантированной дальности обнаружения низколетящих целей радиолокационными станциями обнаружения надводного корабля. — СПб.: ВМА, 1993. 35 с.

6. Букрий В.Н. Определение границ действующей зоны поражения зенитного комплекса в системе зенитного огневого прикрытия ордера надводных кораблей в интересах противовоздушной обороны. — СПб.: ВМА, 1994. 14 с.

7. Галий В.А., Иванищев С.Н., и др. Определение гарантированной дальности обнаружения низколетящих целей радиолокационными станциями обнаружения надводного корабля // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2021. Выпуск № 5–6 (155–156). С. 14–20.

8. Горев А.Г., Козлов И.А. Количественное обоснование решений на основе аналитического моделирования // Военная мысль. 2020. № 7. С. 117–122.

9. 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.

10. Белоусов С.С. О взаимодействии истребителей над Черным морем // Морской сборник, 2020. № 6. С. 61–65.

11. Ильин А.Л., Козлов И.А. Автоматизация управления противовоздушной обороной кораблей. Функциональный подход // — Ульяновск: Автоматизация процессов управления. 2009. Выпуск № 4. С. 53–57.

napravleniy sovershenstvovaniya PVO // Military Thought. 2021. № 2. Pp. 28–35.

2. Baybakov V.N. Formirovaniye sistemy PVO nadvodnykh korabley // Military-industrial courier. 2006. № 33 (149). 10 p.

3 Bukriy V.N. Obosnovaniye parametrov postroyeniya korabelnogo ordena, obespechivayushchego realizatsiyu maksimalnykh boyevykh vozmozhnostey zenitnykh ognevykh sredstv v sisteme protivoraketnoy oborony. — Saint Petersburg: VMA. 1994. 3 p.

4. Antonov Y.S. et al. Avtomatizirovannoye resheniye zadachi tseleraspredeleniya zenitnykh ognevykh sredstv v konture PVO nadvodnogo korablya (sisteme PVO gruppy korabley). — Saint Petersburg: VMA. 1993. 38 p.

5. Bukriy V.N. Metodika rascheta garantirovannoy dalnosti obnaruzheniya nizkoletyashchikh tseley radiolokatsionnymi stantsiyami obnaruzheniya nadvodnogo korablya. — Saint Petersburg: VMA. 1993. 35 p.

6. Bukriy V.N. Opredeleniye granits deystvuyushchey zony porazheniya zenitnogo kompleksa v sisteme zenitnogo ogneвого ordena nadvodnykh korabley v interesakh protivovozdushnoy oborony. — Saint Petersburg: VMA. 1994. 14 p.

7. Galiy V.A., Ivanishchev S.N., et al. Opredeleniye garantirovannoy dalnosti obnaruzheniya nizkoletyashchikh tseley radiolokatsionnymi stantsiyami obnaruzheniya nadvodnogo korablya // Questions of defense technics. Series 16: Technical means of countering terrorism. 2021. Issue 5–6 (155–156). Pp. 14–20.

8. Gorev A.G., Kozlov I.A. Kolichestvennoye obosnovaniye resheniy na osnove analiticheskogo modelirovaniya // Military Thought. 2020. № 7. Pp. 117–122.

9. Antonov Y.S. Nekotoryye problemy optimizatsii postroyeniya sistemy vooruzheniya i upravleniye yeye elementami v protsesse boyevykh deystviy // Vestnik Akademii voyennykh nauk. 2005. № 3. Pp. 128–138.

10. Belousov S.S. O vzaimodeystvii istrebiteley nad Chernym morem // Marine journal. 2020. № 6. Pp. 61–65.

11. Ilyin A.L., Kozlov I.A. Avtomatizatsiya upravleniya protivovozdushnoy oboronoy korabley // — Ulyanovsk: Automation of management processes. 2009. Issue 4. Pp. 53–57.

References

1. Korabelnikov A.L., Krinitskiy Y.V. Tendentsii primeneniya sil i sredstv vozdushnogo napadeniya i