

УДК 623.765.4

DOI: 10.22213/2413-1172-2021-4-25-34

Оптимизация построения системы противовоздушной обороны ордеров надводных кораблей при угрозе 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, Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

Предлагаемое исследование направлено на определение оптимальных (рациональных) параметров построения системы противовоздушной обороны (ПВО) ордеров надводных кораблей при угрозе атак противокорабельных крылатых ракет, а именно: пеленгов и дистанций расположения кораблей ядра и кораблей охранения в ордерах ПВО с учетом ограничений, связанных с выполнением поставленных боевых задач, целераспределения зенитных огневых средств кораблей как коллективной обороны, так и самообороны при отражении атак противокорабельных крылатых ракет режимов боевой готовности зенитных огневых средств с учетом их технической надежности и графика дежурства в интересах ПВО, секторов боевого применения средств радиоэлектронной борьбы с учетом электромагнитной совместимости с используемыми зенитными огневыми средствами, секторов наведения истребительной авиации с учетом соблюдения мер безопасности при их совместном применении с зенитными огневыми средствами.

Применение методов многокритериальной оптимизации для разработанной имитационной модели функционирования системы ПВО ордера надводных кораблей при угрозе атак противокорабельных крылатых ракет в конкретных условиях тактической обстановки позволяет получать необходимые практические рекомендации по построению кораблей в ордере ПВО; назначению режимов боевой готовности; графика дежурства и организации боевого применения зенитных огневых средств; средств радиоэлектронной борьбы, наведения истребительной авиации при угрозе нападения и при непосредственном отражении атак противокорабельных крылатых ракет с одного или нескольких направлений и когда такие направления неизвестны. Последнему соответствует построение равнопрочной системы зенитного огневого прикрытия. Расчеты выполняются с учетом располагаемого состава сил и средств ПВО кораблей ордера и варианта атаки противокорабельных крылатых ракет..

Ключевые слова: система зенитного огневого прикрытия, противокорабельные крылатые ракеты, ордер надводных кораблей, имитационное моделирование, зона поражения, методы многокритериальной оптимизации.

Введение

В настоящее время большое развитие получили новые информационные технологии, основанные на использовании вычислительной техники и математического моделирования, позволяющие усовершенствовать процесс принятия решений в задачах построения сложных систем, планирования и организации их деятельности. Одной из таких сложных систем является система противовоздушной обороны (ПВО) ордеров надводных кораблей. Определение оптимальных (рациональных) параметров ее построения при угрозе атак противокорабельных крылатых ракет является одной из важных задач, которую необходимо решать перед выходом кораблей в море [1].

Необходимо отметить, что слово «рациональный» означает определенную степень уверенности в том, что искомый экстремум найден.

Цели исследования: во-первых, разработка аналитической имитационной модели функционирования системы ПВО ордеров надводных кораблей с учетом располагаемого состава сил, средств и вариантов тактической обстановки; во-вторых, применение методов многокритериальной оптимизации для обоснования оптимальных (рациональных) вариантов построения системы ПВО в интересах защиты от атак противокорабельных крылатых ракет с последующей выработкой конкретных практических рекомендаций, способствующих повышению эффективности системы ПВО ордеров надводных кораблей.

Построение системы ПВО предусматривает:

- организацию управления и назначения режимов работы средств освещения воздушной обстановки;
- выбор параметров ордера, обеспечивающих наиболее эффективное использование зе-

нитных огневых средств с учетом их электромагнитной совместимости со средствами радиоэлектронной борьбы, безопасности применения истребительной авиации, мер взаимной безопасности, требований свободы маневрирования;

– организацию управления и назначение режима боевой готовности зенитных огневых средств;

– организацию управления и назначение режима боевой готовности средств радиоэлектронной борьбы;

– организацию управления наведением истребительной авиации.

В соответствии с целями исследования решение поставленной задачи разделяется на два этапа:

1. Разработка аналитической имитационной модели функционирования системы ПВО при отражении атак противокорабельных крылатых ракет.

2. Выбор методов многокритериальной оптимизации и обоснование оптимальных (рациональных) параметров построения системы ПВО с последующей выдачей практических рекомендаций.

Исследование проводилось на основе системного подхода методом имитационного моделирования функционирования системы ПВО ордера надводных кораблей [2, 3].

Следует подчеркнуть, что в рамках данной статьи представляется возможным остановиться только на основных ключевых моментах решения поставленной задачи.

Основные особенности функционирования системы ПВО ордера надводных кораблей

Поскольку описать модель в одной статье невозможно, постольку ниже приведены только ее основные особенности. Развернутое описание модели, алгоритм, программа и результаты решения с использованием конкретных образцов вооружения приведены в работах, имеющих закрытый характер.

В соответствии с задачами, решаемыми системой ПВО, ее структурная схема приведена на рисунке.

В результате декомпозиции система ПВО представлена элементами и связями между ними. Выделены три вида связей между элементами системы:

γ – координирующие сигналы верхнего уровня нижнему; отражают организующую роль системы верхнего уровня в налаживании взаимной связи подсистем для достижения цели, поставленной перед всей системой;

ω – информационные сигналы нижнего уровня верхнему (обратная связь), обеспечивающие качество работы всей системы;

u – связующие сигналы между элементами одного уровня; отражают тот факт, что элемент самостоятелен в той степени, в которой условия для его функционирования не зависят от того, что происходит в других элементах системы.

Принципиально новым является определение гарантированной дальности обнаружения противокорабельных крылатых ракет как квантиля функции распределения непрерывной случайной величины для заданного уровня вероятности. В расчетах уделено внимание степени готовности и режиму работы радиолокационных станций обнаружения, критериям обнаружения [4], характеристикам противокорабельных крылатых ракет [5], радиолокационной обстановке, в том числе радиолокационным помехам (активным, пассивным, комбинированным), которые в состоянии создавать противник [6, 7].

Временные характеристики зенитных огневых средств были получены по результатам случайных выборок на основе известного аппарата математической статистики.

По аналогии с зенитными ракетными комплексами использовано понятие собственной зоны поражения цели зенитных артиллерийских комплексов.

Разработкой авторов и внесением в математическую модель является определение границ действующих зон поражения зенитных огневых средств, учитывающее не только условия согласования секторов обстрела и собственных зон поражения, но также условия «затенения» кораблей, запретные сектора, обусловленные применением собственных средств радиоэлектронной борьбы и истребительной авиации, удаление рубежей выполнения задач противокорабельными крылатыми ракетами и гарантированные дальности их обнаружения корабельными радиолокационными станциями.

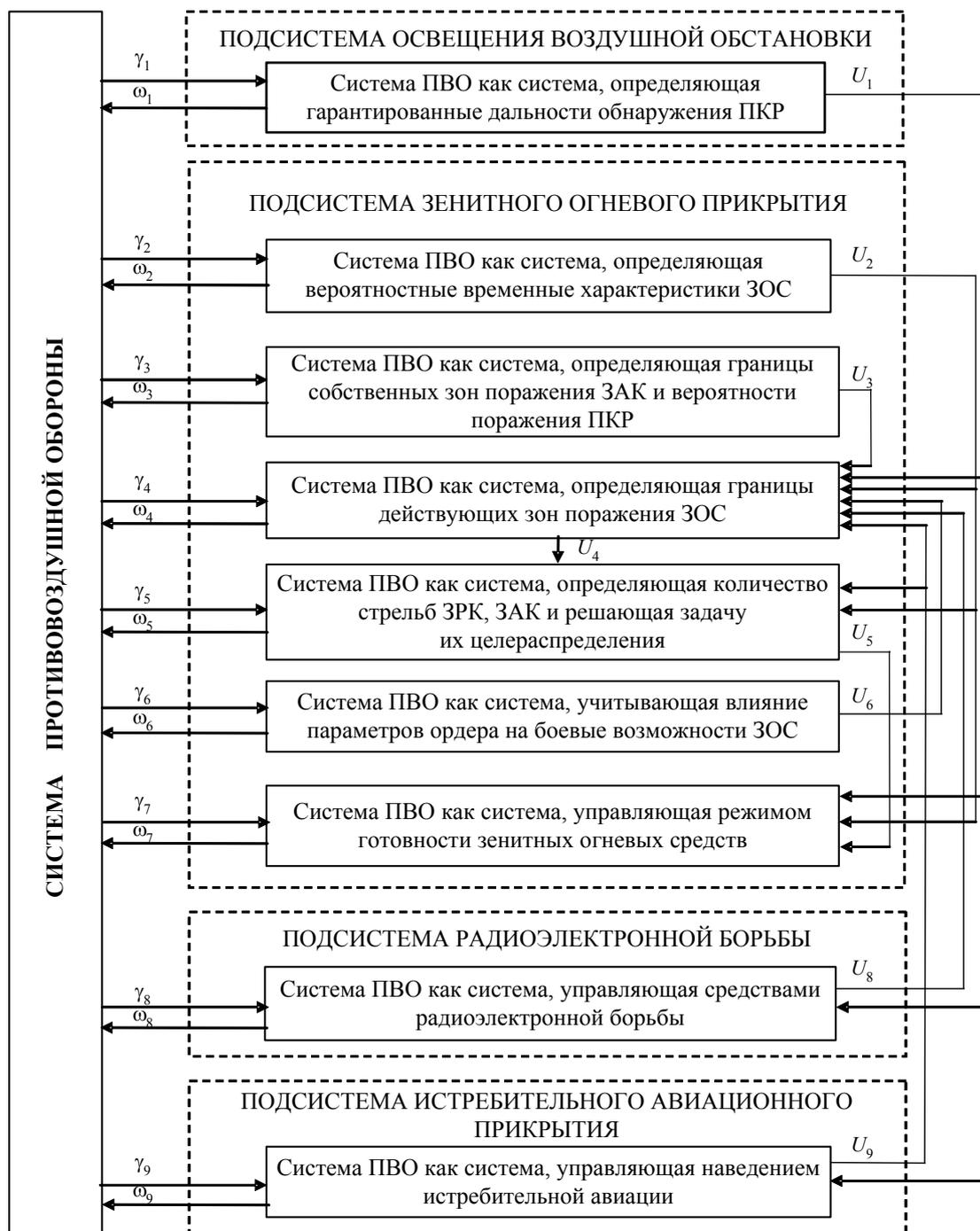
Степень реализации боевых возможностей зенитных огневых средств определяется числом стрельб, выполняемых ими по противокорабельным крылатым ракетам во время отражения атак последних. В ряде случаев при лучшем согласовании зон поражения и секторов обстрела меньшее количество комплексов, участвующих в отражении атак, способно провести большее количество стрельб, чем большее их количество при худшем согласовании рассматриваемых зон и секторов [8].

Существенное влияние на величину действующей зоны поражения оказывает дальность

обнаружения противокорабельных крылатых ракет. При малой дальности обнаружения положение дальней границы действующей зоны поражения может совпадать с ее ближней границей, делая невозможным обстрел цели.

Минимально разрешенные удаления кораблей друг от друга (в частности, в интересах электромагнитной совместимости, безопасности маневрирования, выполнения стрельб, полетов

самолетов, 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 боевым применением средств радиоэлектронной борьбы и наведением истребительной авиации, могут также существенно ограничивать размеры действующей зоны поражения.



Структурная схема системы ПВО ордера надводных кораблей:

ЗОС – зенитные огневые средства; ЗРК – зенитный ракетный комплекс; ЗАК – зенитный артиллерийский комплекс

Structural diagram of an anti-aircraft defense system of surface ships formation:

ZOS - anti-aircraft fire weapons; SAM - anti-aircraft missile system; ZAK - anti-aircraft artillery system

Задача оптимизации процесса целераспределения формулировалась в следующем виде (Антонов Ю. С. Теоретические основы построения системы зенитного огневого прикрытия соединения надводных кораблей в интересах противоракетной обороны : дис. ... д-ра техн. наук, 1990), [9]: определить количество и порядковые номера воздушных целей j -го типа (группы), которые необходимо назначить для обстрела командиру зенитного огневого средства i -го типа, чтобы максимизировать суммарные боевые возможности зенитного огневого средства по отражению атакующих противокорабельных крылатых ракет с учетом их степени опасности (функции «веса») [10].

Зенитные огневые средства кораблей ордера не могут быть жестко распределены для коллективной обороны или для самообороны [11]. Такое распределение обуславливается в решающей степени построением ордера и тактической ситуацией. Зенитные огневые средства кораблей, включенные в общий автоматизированный план целераспределения, т. е. непосредственно участвующие в уничтожении противокорабельных крылатых ракет, атакующих охраняемые корабли (корабли ядра), рассматриваются в качестве средств коллективной обороны. Управление ими в ходе противовоздушного боя осуществляется основным способом с командного пункта ПВО ордера, а при невозможности – резервным способом – децентрализованно с командного пункта ПВО каждого стреляющего корабля по тому же алгоритму. Все остальные зенитные огневые средства, не включенные в общий план целераспределения, рассматриваются в качестве средств самообороны, и управление ими осуществляется децентрализованно с командного пункта ПВО и в интересах каждого атакуемого корабля.

Задача управления режимом готовности зенитных огневых средств включает:

во-первых, обоснование максимально допустимого времени перевода зенитных огневых средств в готовность к приему целеуказания, обеспечивающего обстрел противокорабельных крылатых ракет, начиная с дальних границ действующих зон поражения;

во-вторых, обоснование целесообразного режима готовности зенитных огневых средств, обеспечивающего максимум целевой функции, – математического ожидания количества стрельб по потоку противокорабельных крылатых ракет с учетом технической надежности зенитных огневых средств;

в-третьих, обоснование графика дежурства зенитных огневых средств ПВО, обеспечиваю-

щего своевременный перевод в боевую готовность № 1 зенитных комплексов, непосредственно участвующих в отражении атак противокорабельных крылатых ракет.

При этом для каждого зенитного огневого средства решающее значение имеет соотношение максимально допустимого времени перевода комплекса в готовность к приему целеуказания и располагаемого времени перевода его из боевой готовности № 2 в боевую готовность № 1, а именно:

– если максимально допустимое время перевода зенитных огневых средств в готовность к приему целеуказания превышает время перевода его из боевой готовности № 2 в боевую готовность № 1, то комплекс может находиться в боевой готовности № 2;

– если максимально допустимое время перевода зенитных огневых средств в готовность к приему целеуказания меньше или равно времени его перевода из боевой готовности № 2 в боевую готовность № 1, то комплекс должен находиться в боевой готовности № 1.

Суммарный потенциал поражения средств воздушного нападения дежурных зенитных огневых средств ордера кораблей [12] не может быть использован в качестве целевой функции при обосновании графика дежурства зенитных огневых средств ПВО, поскольку, во-первых, не определяет полностью значение главного критерия эффективности построения системы ПВО, в частности, распределение потенциала поражения по направлениям; 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 ПВО.

Целесообразность и характер противовоздушного маневрирования кораблей ордера в ходе противовоздушного боя по отражению атак противокорабельных крылатых ракет определяется располагаемым временем для выполнения маневра и увеличением значений главного и частных критериев эффективности построения системы ПВО – математического ожидания и вероятностей непоражения каждого из охраняемых кораблей, обусловленных данным маневром. При обнаружении атакующих противокорабельных крылатых ракет с одного или нескольких направлений противовоздушное маневрирование осуществляется поворотом «все вдруг» на рекомендованный генеральный

курс. Следует подчеркнуть, что неконтролируемое самостоятельное противоздушное маневрирование кораблей охранения в интересах собственной безопасности [13], в отличие от поворота «все вдруг» кораблей ордера, приводит зачастую, во-первых, к появлению неконтролируемых динамических, т. е. изменяющихся во времени «провалов» в построении единой системы ПВО, во-вторых, связано с повышенной опасностью столкновения кораблей при следовании в сомкнутых строях.

Проведенные расчеты показывают, что в ряде случаев малая дальность обнаружения низколетящих противокорабельных крылатых ракет в условиях массированного применения противником радиолокационных помех, а также возможность маневра атакующих противокорабельных крылатых ракет в зонах поражения корабельных зенитных огневых средств делают противоздушное маневрирование кораблей ордера нецелесообразным.

В качестве главных (векторных) критериев эффективности выбраны: для первого варианта решения задачи – угрозы атаки противокорабельных крылатых ракет с одного или нескольких направлений – вероятность непоражения одиночного корабля ядра или математическое ожидание числа непораженных кораблей ядра с учетом их «важности» (экспертной оценки); для второго варианта решения задачи, когда направление атак противокорабельных крылатых ракет неизвестно, чему соответствует построение равнопрочной системы зенитного огневого прикрытия, – критерии, связанные с оценкой величин площадей полей векторов потенциалов поражения, реализуемые в интересах каждого из кораблей ядра, коэффициентов равнопрочности и степеней «важности» охраняемых кораблей.

Степень «важности» каждого из охраняемых кораблей определяется, если это возможно, исходя из интересов решения задач более высокого уровня. В противном случае охраняемые корабли считаются «равноценными».

Выбор метода оптимизации для обоснования оптимального (рационального) варианта построения системы ПВО ордера надводных кораблей

Оптимальные (рациональные) варианты построения системы ПВО определяются методом случайного поиска с пересчетом при неудачном шаге. Регулируемыми параметрами являются пеленг и дистанции расположения кораблей относительно центра ордера с учетом ограничений.

Для первого варианта решения задачи – угрозы атак противокорабельных крылатых ракет с одного или нескольких направлений – в математической модели предусмотрена возможность оптимизации параметров построения ордера с одновременной оптимизацией его генерального курса.

Приняты следующие возможные ограничения на расположение корабля ядра и кораблей охранения, обусловленные выполняемыми задачами.

1. Удаление корабля ядра от центра ордера ограничено сверху максимально возможным значением, удаление кораблей охранения не ограничено.

2. Удаление корабля ядра от центра ордера ограничено сверху максимально возможным значением, удаление кораблей охранения – минимально возможным значением.

3. Расположение корабля ядра не допускает изменений, расположение кораблей охранения не ограничено.

4. Расположение корабля ядра не допускает изменений, удаление кораблей охранения от центра ордера ограничено снизу минимально возможным значением.

5. Расположение кораблей охранения и корабля ядра не ограничено.

Для ускорения сходимости поиска используются методы адаптации (обучения).

Для нахождения глобального экстремума применяется случайный мультистарт, эффективность которого существенно увеличена способом расслоенной выборки. В математической модели способ применялся следующим образом: поиск производился из начальных мест расположения кораблей, но само расположение осуществлялось случайным образом с учетом действующих ограничений.

Результаты имитационного моделирования для различных по составу ордеров и условий тактической обстановки показали, что оптимальным (рациональным) вариантом построения равнопрочной системы зенитного огневого прикрытия среди полученных с использованием вышеуказанных критериев следует считать такой, при котором коэффициент равнопрочности и площадь поля векторов потенциалов поражения для каждого из охраняемых кораблей принимают максимальное значение.

Использование рассмотренных выше главных критериев, относящихся к аддитивным критериям оптимальности, потребовало учесть их недостатки и наметить пути их преодоления. Так, в аддитивном критерии может происходить

взаимная компенсация частных критериев. Это означает, что уменьшение одного из критериев вплоть до нулевого значения может быть покрыто возрастанием другого критерия. Специальные ограничения на минимальные значения частных критериев, использованные в оптимизационных моделях, а именно: для каждого очередного удачного («рабочего») шага поиска минимальные значения вероятностей непоражения охраняемых кораблей для первого варианта решения задачи или минимальные значения коэффициентов равнопрочности и площадей полей векторов потенциалов поражения – для второго были не хуже, чем у предыдущего удачного шага поиска и позволили существенно снизить указанный недостаток.

В процессе работы над оптимизационной моделью системы зенитного огневого прикрытия на диаграммах поражающих потенциалов были обозначены замкнутые зоны, не охватываемые системой зенитного огневого прикрытия даже при оптимальном (рациональном) варианте ее построения, т. е. такие, в которых не обеспечиваются требуемые значения вероятностей непоражения каждого из охраняемых кораблей. Это дало возможность выработать рекомендации по применению истребительной авиации и средств радиоэлектронной борьбы в секторах, построенных относительно каждого из охраняемых кораблей, как из центра и охватывающую каждую из указанных зон. Такой подход позволил перейти от оптимальных (рациональных) вариантов построения системы зенитного огневого прикрытия к оптимальным (рациональным) вариантам построения системы ПВО в целом [14].

При проведении имитационного моделирования предполагалось, что использование истребительной авиации в указанных секторах ближе рубежа целеуказания запрещается и не ограничивает действий зенитных огневого средств кораблей [15].

При совместном применении средств радиоэлектронной борьбы и зенитных огневого средств основной проблемой становится проблема электромагнитной совместимости. В большинстве случаев единственным вариантом ее решения может служить последовательное боевое применение средств радиоэлектронной борьбы и зенитных огневого средств. Поскольку при этом приоритет в системе ПВО отводится зенитным огневым средствам [16], то в качестве основного параметра, определяющего ближнюю границу интервала работы активных средств

радиоэлектронной борьбы, принимается дальность выдачи целеуказания зенитным огневым средствам. В тех случаях, когда предпочтение в системе ПВО будет отдано средствам радиоэлектронной борьбы и(или) истребительной авиации, и их работа будет несовместима с работой зенитных огневого средств, в математической модели предусматривается учет запретных секторов стрельбы зенитных огневого средств (аналогично запретным секторам в интересах безопасности соседних кораблей ордера), и такие сектора учитываются при проведении оптимизации построения всей системы.

Вопросы взаимодействия системы зенитного огневого прикрытия с истребительной авиацией с учетом применения беспилотных летательных аппаратов малой дальности требуют проведения более глубоких исследований, начало которых было положено в работах [17, 18].

Разработанная оптимизационная модель позволяет по достигнутому уровню главного критерия эффективности сравнивать альтернативные варианты составов корабельного охранения и истребительной авиации и выбирать наилучший из них. При задании требуемого уровня главного критерия это позволяет определить минимальный (рациональный) состав кораблей охранения и истребительной авиации, т. е. решать не только прямую, но и обратную задачу оптимизации. В этом случае требуемый уровень будет обоснован не только тактическими соображениями, при которых он может быть либо невыполним для располагаемого состава сил и средств ПВО, либо неоправданно занижен по сравнению с вариантом их оптимального (рационального) построения, а точными расчетами и ему будет соответствовать оптимальный (рациональный) вариант построения системы ПВО.

В рассматриваемой выше задаче многокритериальной оптимизации предусмотрено участие лица, принимающего решение, на трех этапах ее реализации, а именно:

- на первом этапе – построение главных аддитивных критериев оптимальности для обоих вариантов постановки задачи;
- на втором этапе – проведение итеративной процедуры случайного поиска на основе алгоритма предпочтения, разработанного лицом, принимающим решение;
- на третьем этапе – на основе полученных оптимальных (рациональных) результатов решения выбор предпочтительного, его утверждение с последующей выработкой практических рекомендаций.

Результаты исследования и их обсуждение

Использование разработанной имитационной модели и методов многокритериальной оптимизации для обеспечения оптимального (рационального) построения системы ПВО в конкретных условиях тактической обстановки позволило сформулировать некоторые практические рекомендации, основными из которых являются следующие:

– на этапе планирования боевых действий с помощью разработанной компьютерной методики по результатам анализа обстановки разрабатывать и графически отображать оптимальные (рациональные) варианты построения системы зенитного огневого прикрытия кораблей, рекомендованные сектора прикрытия истребительной авиацией и средствами радиоэлектронной борьбы как реакцию на прогнозируемые варианты действий противника;

– на переходе морем и в районе боевых действий в угрожаемый период и во время отражения атак воздушного противника разрабатывать и графически отображать с помощью этой же методики целесообразный вариант построения ордера кораблей, рекомендованные курсы и скорости кораблей для перестроения в ордер ПВО, целесообразный режим готовности зенитных огневых средств и график их дежурства по ПВО;

– во время противовоздушного боя на основе разработанной и включенной в корабельную автоматизированную систему управления компьютерной методики вырабатывать целесообразный план целераспределения практически в реальном масштабе времени;

– если условия боевой обстановки требуют изменения режима боевой готовности зенитных огневых средств в сторону нежелательного сокращения времени их пребывания в походной готовности (боевой готовности № 2) или при выходе последних из строя, определять новое оптимальное (рациональное) построение системы ПВО, а в случае такой возможности – требуемый состав и местоположение кораблей (самолетов) радиолокационного дозора, обеспечивающих наращивание радиолокационного поля на угрожаемых направлениях.

Практическая значимость исследования заключается в разработке компьютерной методики оптимизации построения системы ПВО ордера надводных кораблей в интересах защиты от атак противокорабельных крылатых ракет и соответствующих процедур количественного обоснования принимаемых на постах ПВО решений, способствующих повышению эффек-

тивности системы ПВО как соединений кораблей, так и одиночных кораблей. Предлагаемая методика при соответствующей ее доработке может быть рекомендована 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 [19].

Представленная аналитическая модель функционирования системы ПВО с учетом ее последующей доработки может стать, по мнению авторов, полезным инструментом для решения двух важных задач:

1) оценки эффективности построения системы 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) оценки эффективности построения системы 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» [20].

Выводы

Актуальность проведенного исследования заключается в следующем:

– разработана аналитическая модель функционирования системы ПВО и решена задача оптимизации параметров ордера, обеспечивающая максимальный уровень боевой устойчивости охраняемых кораблей при отражении атак противокорабельных крылатых ракет;

– достигнута большая корректность в определении размеров действующих зон поражения корабельных зенитных огневых средств за счет детального учета дальности обнаружения противокорабельных крылатых ракет в различных условиях помеховой обстановки, запретных

секторов и секторов обстрела зенитных огневых средств, рубежей применения оружия и выполнения задачи атакующими противокорабельными крылатыми ракетами, запретных секторов, обусловленных применением собственных средств радиоэлектронной борьбы и наведением истребительной авиации;

– составлен алгоритм и реализована компьютерная программа определения (с учетом степени опасности атакующих противокорабельных крылатых ракет) дробного плана целераспределения и перевода его в целочисленный план на ПЭВМ в масштабе времени, близком к реальному;

– решена задача и реализована компьютерная программа обоснования целесообразного режима готовности и графика дежурства зенитных огневых средств по ПВО;

– разработаны компьютерные программы графического отображения параметров построения ордера, диаграмм боевых возможностей зенитных огневых средств кораблей и рекомендованных зон применения истребительной авиации и средств радиоэлектронной борьбы в масштабе времени, близком к реальному;

– разработаны компьютерные программы выработки рекомендаций по перестроению кораблей в утвержденные командованием (лицом принимающим решение) оптимальные (рациональные) ордера ПВО с учетом ограничений, связанных с выполнением боевой задачи, располагаемыми временем для выполнения маневра и максимально возможной скоростью хода кораблей при перестроении.

Созданная оптимизационная модель в значительной степени реализует принцип нейронных сетей [21] и позволяет после ввода исходной информации самостоятельно, если не поступила команда от ЛПР, принимать обоснованные решения на перестроение кораблей в ордер ПВО, целераспределение и назначение режима готовности зенитных огневых средств, применение средств радиоэлектронной борьбы и наведения истребительной авиации.

В заключение необходимо отметить, что рассмотренная проблема содержит множество различных аспектов, и ее более полное решение может быть достигнуто в результате целого ряда исследований, особенно если в них предлагаются различные подходы [22, 23].

Библиографические ссылки

1. *Байбаков А.С.* Формирование системы ПВО надводных кораблей // Военно-промышленный курьер. 2006. № 33. С. 9–11.

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

3. *Созинов П. А.* Актуальные задачи математического моделирования систем ВКО // Вестник концерна ВКО «Алмаз-Антей». 2017. № 3. С. 17–26.

4. *Друзин С. В., Горевич Б. Н.* Методика формирования облика радиолокационных станций перспективной системы вооружения войсковой ПВО // Вестник концерна ВКО «Алмаз-Антей». 2020. № 2. С. 6–31.

5. *Смирнов М. А.* Методика оценки эффективности информационных средств ЗРК (ЗРС) при обнаружении ГЗКР с учетом динамики ЭПР цели // Вестник концерна ВКО «Алмаз-Антей». 2019. № 1. С. 18–23.

6. Обеспечение стойкости корабельных радиоэлектронных систем / А. Харланов, Л. Попов, И. Кузнецов, А. Жидков // Морской сборник. 2019. № 6. С. 65–68.

7. *Солдаткин А.* Перспективные решения – задачи совершенствования ЗРК МД // Национальная оборона. 2020. № 9. С. 128–131.

8. *Федоров А., Листовский В.* Любая цель будет уничтожена // Национальная оборона. 2020. № 8. С. 36–43.

9. *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 с.

10. *Егоров К.* Перспективы развития высокоточных средств поражения класса «воздух – земля» // Зарубежное военное обозрение. 2020. № 12. С. 42–55.

11. *Ильин В. А., Козлов И. А.* Автоматизация управления противовоздушной обороной кораблей. Функциональный подход // ВСОК ВМФ. 2009. С. 53–57.

12. *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.

13. *Оркин Б. Д., Оркин С. Д., Дьячук А. К.* Структура алгоритма целераспределения средств противовоздушной обороны корабельной группы // Труды МАИ. 2012. № 62. С. 145–156.

14. *Сильников М. В., Лазоркин В. И.* Формализация системы противовоздушной обороны и системы активной защиты объектов и средств поражения в условиях массированного налета средств воздушно-космического нападения // Известия РАН. 2021. Вып. 117. С. 25–32.

15. *Белоусов С.* О взаимодействии с истребителями над Черным морем // Морской сборник. 2020. № 6. С. 61–65.

16. *Измайлов Роман.* Вчера, сегодня и завтра противовоздушной обороны кораблей ВМФ России // Национальная оборона. 2021. № 8. С. 94–101.

17. *Ананьев А. В., Филатов С. В., Рыбалко А. Г.* Совместное применение пилотируемой авиации и разведывательно-ударных беспилотных летательных аппаратов малой дальности // Военная мысль. 2019. № 4. С. 26–31.

18. Степанов А. Зарубежные комплексы и средства противодействия БПЛА // Зарубежное военное обозрение. 2021. № 3. С. 60–68.

19. Корабельников А. П., Кринуцкий Ю. В. Тенденции применения сил и средств воздушного нападения и направления совершенствования ПВО // Военная мысль. 2021. № 2. С. 28–35.

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

21. 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, no. 042118. DOI: 10.1088/1755-1315/769/4/042118.

22. Hampton B. Weapons Systems: Background and Issues for Congress. Nova Science Pub Inc., 2018, pp. 1-259.

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

References

1. Baibakov A.S. [Building of antiaircraft defense system of surface ships]. *Voенно-promyshlennyyi kur'er*, 2006, no. 33, pp. 9-11 (in Russ.).

2. Gorev A.G., Kozlov I.L. [Quantitative justification of decisions based on analytical modeling]. *Voennaya mysl'*, 2020, no. 7, pp. 117-122 (in Russ.).

3. Sozinov P.A. [Crucial tasks of mathematical modeling of aerospace defense systems]. *Vestnik koncerna VKO "Almaz - Antey"*, 2017, no. 3, pp. 17-26 (in Russ.).

4. Druzin S.V., Gorevich B.N. [Methodology for developing a conceptual design of radar stations for prospective air defence weapon systems]. *Vestnik Koncerna VKO "Almaz - Antey"*, 2020, no. 2, pp. 6-31 (in Russ.). DOI: 10.38013/2542-0542-2020-2-6-31.

5. Smirnov M.A. [Methodology for evaluating effectiveness of air defense missile system (ADMS) information resources when detecting a hypersonic cruise missile, with account for the dynamic target scattering crossover]. *Vestnik Koncerna VKO "Almaz - Antey"*, 2019, no. 1, pp. 18-23 (in Russ.).

6. Kharlanov A., Popov L., Kuznetsov I., Zhidkov A. [Stability providing of shipboard electronic systems]. *Morskoi sbornik*, 2019, no. 6, pp. 65-68 (in Russ.).

7. Soldatkin A. [Promising solutions - the tasks of improving AMS of SR]. *Natsional'naya oborona*, 2020, no. 9, pp. 128-131 (in Russ.).

8. Fedorov A., Listovskii V. [Any target will be destroyed]. *Natsional'naya oborona*, 2020, no. 8, pp. 36-43 (in Russ.).

9. Antonov Yu.S., Bukrii V.N. [Automated target allocation task solution of antiaircraft fire weapons in

antiaircraft defense (AD) contour of surface ship (in AD system of ships group)]. *VMA*, 1993, 38p (in Russ.). 38 с.

10. Egorov K. [Development prospects of precision-guided weapon of "air-ground" class]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*, 2020, no. 12, pp. 42-55 (in Russ.).

11. Il'in V.A., Kozlov I.A. [Automation of control over antiaircraft defense of ships. Functional approach]. *VSOК VMF*, 2009, pp. 53-57 (in Russ.).

12. Antonov Yu.S. [Some problems of optimizing of building of weapon system and controlling its elements in process of combat operations]. *Vestnik Akademii voennykh nauk*, 2005, no. 3, pp. 128-138 (in Russ.).

13. Orkin B.D., Orkin S.D., Dyachuk A.K. [The structure of the target allocation algorithm for air defense means of a ship group]. *Trudy MAI*, 2012, no. 62, pp. 145-156.

14. Sil'nikov M.V., Lazorkin V.I. [Formalization of the air defence system and active object protection systems from means of destruction in conditions of massive raid of means of aerospace attack]. *Izvestiya RARAN*, 2021, vol. 117, pp. 25-32 (in Russ.).

15. Belousov S. [On interaction of fighters over Black Sea]. *Morskoi sbornik*, 2020, no. 6, pp. 61-65 (in Russ.).

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

17. Anan'ev A.V., Filatov S.V., Rybalko A.G. [Joint use of piloted aircraft and short-range reconnaissance and assault drones]. *Voennaya mysl'*, 2019, no. 4, pp. 26-31 (in Russ.).

18. Stepanov A. [Foreign complexes and means of countering UAV]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*, 2021, no. 3, pp. 60-68 (in Russ.).

19. Korabel'nikov A.P., Krinitskii Yu.V. [The trends in the use of air attack forces and means and air defense improvement lines]. *Voennaya mysl'*, 2021, no. 2, pp. 28-35 (in Russ.).

20. Colin R. Miller. Colin R. Miller. [Electromagnetic Pulse Threats in 2010]. *Major, USAF, Center for Strategy and Technology Air War College, Air University*, 2005, pp. 383-410.

21. 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, no. 042118. DOI: 10.1088/1755-1315/769/4/042118.

22. Hampton B. Weapons Systems: Background and Issues for Congress. Nova Science Pub Inc., 2018, pp. 1-259.

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

Optimization Basics of Antiaircraft Defense System Building of Surface Ships Formation in Case of Anti-Ship Missiles Attacks Threat

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

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

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

The study proposed in the paper is aimed at determining the optimal (rational) parameters of building of an anti-aircraft defense (AD) system of surface ships formation in case of anti-ship missiles attacks threat, namely: bearings and distances of the core ships location and escort ships in the AD formations, taking into account the restrictions associated with the accomplishment of assigned combat missions, the target allocation of antiaircraft fire weapons of ships, both collective defense and self-defense, when repelling AShM attacks, combat readiness modes of the AFW, taking into account their technical reliability and duty schedule in the interests of AD, sectors of the combat use of electronic warfare, taking into account the electromagnetic compatibility (EMC) with the used AFW, orientation sectors of fighter aviation taking into account the compliance with security measures when using together with AFW.

The multicriteria optimization methods using for the developed simulation model of the AD system functioning of surface ships formation in case of the AShM attacks threat in the specific conditions of the tactical situation allows obtaining the necessary practical recommendations on the ships formation in the AD formation, designation of combat readiness modes, duty schedule and the organization of the combat using of AFW, EW facilities, FA orientation in the case of the attack threat and the direct repelling of AShM attacks from one or several directions, it corresponds to the building of an equal-strength antiaircraft fire covering system, considering the available composition of the forces and AD facilities of the formation ships.

Keywords: antiaircraft fire covering system, anti-ship missiles, formation of surface ships, simulation modeling, areas under fire, multicriteria optimization methods.

Получено 25.09.2021

Образец цитирования

Галий В. А., Иванищев С. Н., Букрий В. Н. Оптимизация построения системы противоздушной 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.

For Citation

Galiy V.A., Ivanischev S.N., Bukriy V.N. [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*, 2021, vol. 24, no. 4, pp. 25-34 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2021-4-25-34.