Кораблев Д.К., Кубенин Н.А., Трифонов В.А.

*Военно-морской политехнический институт ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»
Санкт-Петербург, Россия*

doi: 10.18411/Ij-30-06-2017-11

idsp 000001:Ij-30-06-2017-11

Модель обоснования состава сил поиска противника в море с привлечением беспилотных летательных аппаратов

Аннотация

В статье предлагается способ применения беспилотных летательных аппаратов в целях поиска и обнаружения надводных морских объектов на обширных морских территориях. Выявляется зависимость необходимого состава поисковой группы из беспилотных летательных аппаратов от времени при поиске возможных надводных целей в указанных районах.

Ключевые слова: Военно-морской флот, беспилотные летательные аппараты, поиск противника в море.

Введение. Одной из задач, решаемых силами ВМФ в море, является задача обнаружения и поиска. При осуществлении поиска кораблём надводного объекта с помощью радиолокационной станции (РЛС) дальность обнаружения зависит, в том числе, и от высоты установки антенны РЛС, и не превышает нескольких десятков километров. В определённой степени этого недостатка лишены авиационные средства обнаружения, обладающие к тому же более высокой поисковой скоростью, а, следовательно, и поисковой производительностью. Однако пилотируемая авиация не всегда может быть привлечена к решению поставленных задач. Применительно к периоду боевых действий можно сказать, что урон от потери пилотируемого аппарата не сопоставим с уроном от потери беспилотного летательного аппарата (БПЛА) в силу возможных человеческих жертв. Учитывая, что современные БПЛА могут нести РЛС, обладающие большой дальностью обнаружения, имеют высокую

автономность и скорость полёта, представляет определённый интерес оценка эффективности использования БПЛА для поиска надводных целей.

Постановка задачи. В зоне ответственности флота ожидается появление противника в составе главной цели и сил охраны. Необходимо сформировать наряд сил из ударных кораблей и беспилотных летательных аппаратов, способный обнаружить противника, следить за ним и поразить главную цель в случае поступления приказа. При этом вероятность поражения должна быть не менее чем РЗАД, а время от принятия решения на поражение цели до залпа - не более ΔT . Определить состав наряда сил, который был бы способен выполнить эту задачу.

Математическая модель. Пусть скорость главной цели равна $V_{Ц}$, период обследования района - $T_{Ц}$, а радиус возможного места цели на момент ее обнаружения - R_0 . Этот радиус расплывается в соответствии с формулой [1]

$$R_{мц}(t) = R_0 + V_{Ц} \cdot t, \quad (1)$$

где t – время с момента последнего обнаружения цели.

Обозначим радиус поражения цели - $R_{ПОР}$, момент передачи команды на поражение цели – τ , а время на подготовку залпа - $\Delta t_{ПЗ}$. Будем считать, что цель будет поражена с вероятностью РЗАД, если на момент залпа ($t = \tau + \Delta t_{ПЗ}$) $R_{ПОР}$ не меньше, чем $R_{мц}(t)$,

$$R_0 + V_{Ц} \cdot t \leq R_{ПОР}. \quad (2)$$

Если неравенство (2) выполняется, то залп будет произведён в момент времени t . При этом цель будет поражена с вероятностью РЗАД. Если неравенство (2) не выполняется, то необходимо ждать уточнения координат цели. Следовательно, период обследования района (время от момента потери контакта до момента окончания обследования района, в ходе которого контакт с целью будет восстановлен) должен быть таким, чтобы время от момента выдачи команды на поражение цели до момента залпа не превышало ΔT .

Представим задачу графически, рисунок 1. На этом рисунке: 0, $T_{Ц}$, $2 \times T_{Ц}$, $3 \times T_{Ц}$ – моменты окончания обследования района, временные отрезки от 0 до t_1 , от $T_{Ц}$ до t_2 , от $2T_{Ц}$ до t_3 и т.д. это время после потери контакта в течение которого цель (в случае поступления соответствующего приказа) будет поражена, поскольку радиус её возможного места меньше радиуса поражения, а моменты t_1 , t_2 , t_3 соответствуют условиям

$$R_0 + V_{Ц} \cdot (t_i - (i-1) \cdot T_{Ц}) = R_{ПОР}. \quad (3)$$

Рисунок 1 - График вариации радиуса возможного места цели

В дальнейшем откажемся от индексов, и речь будем вести только о первом цикле, отображенном на рис. 1. В этом случае уравнение (3) примет вид $R_0 + V_{Ц} \cdot t = R_{ПОР}$. Отсюда получим

$$t = (R_{ПОР} - R_0) / V_{Ц} . \quad (4)$$

Из рисунка 1 следует, что неравенство (2) эквивалентно неравенству $\tau + \Delta t_{ПЗ} \leq t$. Это значит, что если момент времени τ удовлетворяет последнему неравенству, то наряд начнёт подготовку к залпу сразу же с получением команды и выполнит его через $\Delta t_{ПЗ}$. Если же имеет место неравенство, $\tau + \Delta t_{ПЗ} > t$, то необходимо подождать пока не будут уточнены координаты главной цели. По условиям задачи это должно произойти не более чем через $\Delta T = T_{Ц} - t = T_{Ц} - (R_{ПОР} - R_0) / V_{Ц}$. Отсюда получим

$$T_{Ц} = \Delta T + (R_{ПОР} - R_0) / V_{Ц} . \quad (5)$$

Формула (5) позволяет рассчитать минимально необходимый наряд сил системы освещения обстановки, который способен решить задачу своевременного обнаружения противника. Один из вариантов такого расчета приведен ниже. Пусть для обследования района выделено n тактических единиц. Каждая i -я единица характеризуется поисковой скоростью v_i и дальностью обнаружения цели d_i . Пусть площадь обследуемого района S . Тогда длительность обследования будет равна

$$T_{Ц} = \left(S - \sum_{i=1}^n \pi \cdot d_i^2 \right) \div \left(\sum_{i=1}^n 2 \cdot d_i \cdot v_i \right) . \quad (6)$$

В формуле (6) автор произвёл допущение - зоны обследования поисковых единиц не имеют пересечений.

Объединив формулы (5) и (6), получим

$$(\Delta T + (R_{ПОР} - R_0))/V_{Ц} = \left(S - \sum_{i=1}^n \pi \cdot d_i^2 \right) \div \left(\sum_{i=1}^n 2 \cdot d_i \cdot v_i \right) . \quad (7)$$

Все переменные в этой формуле, кроме n известны. Отсюда можно найти n . Очевидно, что n будет зависеть, помимо прочего, от поисковых скоростей и дальностей обнаружения тактических единиц. Поэтому здесь возможна оптимизация состава сил поиска [2]. Задача упрощается, если корабли и БПЛА, входящие в поисковый наряд сил, однотипны. В этом случае формула (7) преобразуется к виду

$$\begin{aligned} (\Delta T + (R_{ПОР} - R_0))/V_{Ц} = & \left(S - n_{\kappa} \cdot \pi \cdot d_{\kappa}^2 - n_{\text{бпЛА}} \cdot \pi \cdot d_{\text{бпЛА}}^2 \right) \div \\ & (2 \cdot n_{\kappa} \cdot d_{\kappa} \cdot v_{\kappa} + 2 \cdot n_{\text{бпЛА}} \cdot d_{\text{бпЛА}} \cdot v_{\text{бпЛА}}) \end{aligned} \quad (8)$$

В случае использования одного корабля и нескольких БПЛА формула (8) преобразуется к виду

$$\begin{aligned} (\Delta T + (R_{ПОР} - R_0))/V_{Ц} = & \left(S - \pi \cdot d_{\kappa}^2 - n_{\text{бпЛА}} \cdot \pi \cdot d_{\text{бпЛА}}^2 \right) \div \\ & (2 \cdot d_{\kappa} \cdot v_{\kappa} + 2 \cdot n_{\text{бпЛА}} \cdot d_{\text{бпЛА}} \cdot v_{\text{бпЛА}}) \end{aligned} \quad (9)$$

Откуда получим

$$\begin{aligned} n_{\text{бпЛА}} = & \left(S \cdot V_{\text{ц}} - V_{\text{ц}} \cdot \pi \cdot d_{\kappa}^2 - 2 \cdot d_{\kappa} \cdot v_{\kappa} \cdot (\Delta T - R_{\text{нор}} + R_0) \right) \div \\ & (2 \cdot d_{\text{бпЛА}} \cdot v_{\text{бпЛА}} \cdot (\Delta T + R_{\text{нор}} - R_0) + \pi \cdot d_{\text{бпЛА}}^2 \cdot V_{\text{ц}}) \end{aligned} \quad (10)$$

Общее количество потребных сил

$$\begin{aligned} n = 1 + n_{\text{бпЛА}} = & 1 + \left(S \cdot V_{\text{ц}} - V_{\text{ц}} \cdot \pi \cdot d_{\kappa}^2 - 2 \cdot d_{\kappa} \cdot v_{\kappa} \cdot (\Delta T - R_{\text{нор}} + R_0) \right) \div \\ & (2 \cdot d_{\text{бпЛА}} \cdot v_{\text{бпЛА}} \cdot (\Delta T + R_{\text{нор}} - R_0) + \pi \cdot d_{\text{бпЛА}}^2 \cdot V_{\text{ц}}) \end{aligned} \quad (11)$$

Данная формула позволяет рассчитать наряд сил, если суммарное время поиска не превышает автономность БПЛА. В противном случае, количество БПЛА необходимо будет удвоить (простейший вариант, в случае приближения суммарного времени поиска к максимальной продолжительности полёта следует заблаговременно выслать следующую группу БПЛА).

Дальность обнаружения зависит, в том числе, от дальности прямой видимости. Возможно оценить уменьшение времени обследования района и потребный наряд сил, учитывая большую поисковую скорость БПЛА, а также большую дальность прямой видимости без учёта нормальной рефракции [4], рассчитываемую по формуле (11)

$$D = 3.57(\sqrt{h_a} + \sqrt{h_u}), \quad (12)$$

где h_a - высота антенны, м, h_u - высота цели, м, D- дальность прямой видимости, км.

Произведём расчёт периода обследования района площадью, равной половине площади Баренцева моря (~712000 км²), одиночным кораблём (V-18 узлов, высота антенны 10 м) и БПЛА (V-200 км/ч, высота полёта 1000 м). Период обследования рассчитан по формуле (6), дальность обнаружения- по формуле (12). Для БПЛА время обследования составит 13 час 20 мин 15 с, а для корабля 471 час 39 мин 23 с, что чрезмерно много.

Предположим, что для обследования района выделен наряд сил, состоящий из одного ударно-поискового корабля и нескольких БПЛА.

Преобразуя формулу (6), можно оценить потребное количество БПЛА для различных назначенных периодов обследования района:

$$n_{\text{бпла}} = (S - \pi \cdot d_k^2 - 2 \cdot d_k \cdot v_k \cdot T_u) \div (2 \cdot T_u \cdot d_{\text{бпла}} \cdot v_{\text{бпла}} + \pi \cdot d_{\text{бпла}}^2) \quad (13)$$

Результаты представлены в таблице (1):

Таблица 1.

Потребное количество БПЛА для обследования района площадью 712000 км² (половина площади Баренцева моря) в назначенный период времени

Назначенный период обследования, час	Потребное количество БПЛА, шт.	Назначенный период обследования, час	Потребное количество БПЛА, шт.
1	8	13	1
2	5	14	1
3	4	15	1
4	3	16	1
5	3	17	1
6	3	18	1
7	2	19	1
8	2	20	1
9	2	21	1
10	2	22	1
11	2	23	1
12	2	24	1

Таким образом, включение в состав наряда сил БПЛА позволит значительно сократить время обследования района, а, следовательно, и оперативность решения задачи.

Выводы. Приведенная математическая модель является упрощенным агрегированным отображением реальных зависимостей. Однако, как отмечено в [1], во многих случаях достаточно иметь агрегированные модели, дающие

качественную картину взаимосвязей основных свойств сложной организационно-технической системы.

1. Захаров И. Г. Теория принятия компромиссных решений при исследовательском проектировании судов. СПб: 1 ЦНИИ МО, 2004 - 215 с.
2. Куватов В. И., Величко Г. А. Исследование операций. СПб: ВМИРЭ, 2005- 356 с.
3. Осипов А.Н., Кириллов А.Л. Бородин И.В. Модели систем освещения обстановки на море. Петродворец: ВМИРЭ, 2001 - 156 с.
4. Буров Н.И., Маловысотная радиолокация. М, Воениздат, 1977- 128 с.