

Ю.Л. Козирацкий, доктор технических наук, профессор
А.А. Донцов, доктор технических наук, доцент
Р.Г. Хильченко

Методика обоснования состава радиоэлектронного комплекса обороны вертолета от перспективных воздушных средств ПВО противника

В статье предложена методика обоснования состава комплекса защиты вертолета от авиационных комплексов перехвата противника на основе определения целесообразных способов противодействия средствам управления оружием воздушного противника.

К настоящему времени средства вооружения истребительной авиации проблемно ориентированы на поражение вертолетов на больших дальностях, в больших диапазонах скоростей и высот, а также в любых метеорологических условиях. Оснащенные радиолокационными и оптическими системами поиска, обнаружения, наблюдения и автоматического управления огнем, современные истребители представляют собой высокоэффективные авиационные комплексы перехвата (АКП). Указанные особенности приводят к резкому снижению эффективности существующих комплексов защиты вертолетов и ставят в весьма сложное положение возможность парирования возросших угроз от АКП при использовании вертолетов по основному предназначению.

Одним из перспективных направлений разрешения назревшей практической проблемы, связанной с повышением эффективности вертолетных комплексов и подразделений армейской авиации (АА) в целом, является разработка, наряду с комплексами индивидуальной защиты, специализированного комплекса защиты от АКП. В состав такого комплекса должны войти системы и устройства, адекватно отвечающие возможностям потенциального противника, с учетом используемых вертолетами способов радиоэлектронной борьбы.

Цель работы состоит в разработке методики обоснования состава радиоэлектронного комплекса обороны вертолета, ориентированного на современные воздушные средства ПВО противника, исходя из рациональных способов противодействия.

Радиоэлектронный комплекс (РЭК) обороны предназначен для защиты вертолета от авиационных средств поражения (АСП) путем подавления радиоэлектронных средств и оптико-электронных средств (ОЭС), входящих в состав системы управления оружием противника, действующего по перехвату защищаемого вертолета. Он является дополнительным (к основному) вооружением образцов военной техники, а состав комплекса может видоизменяться в зависимости от выполняемой боевой задачи, оперативно-тактических условий, времени года и т. д.

На основании методического подхода к обоснованию требований и вариантов состава подсистем информационного обеспечения комплексов оптико-электронного подавления, изложенного в [1], разработаем методику обоснования состава РЭК обороны вертолета от АСП АКП.

Процедура формирования вариантов комплекса защиты, определяющая основное содержание предлагаемой методики, включает этапы, изображенные на рисунке 1.

1. На основе анализа сценариев боевых действий защищаемых объектов определяется перечень высокоточного оружия (ВТО), применяемого воздушным противником, и соответствующего ему перечня способов противодействия.

2. На основе логико-вероятностного метода исследования определяется перечень целесообразных способов противодействия указанным средствам ВТО.

3. На основе имеющейся информации о существующих системах (устройствах) противодействия, хорошо зарекомендовавших себя в применении на различных носителях (самолеты, вертолеты, БЛА и др.) применительно к рассматриваемым средствам ВТО, формируется состав комплекса защиты вертолета с учетом массогабаритных показателей.

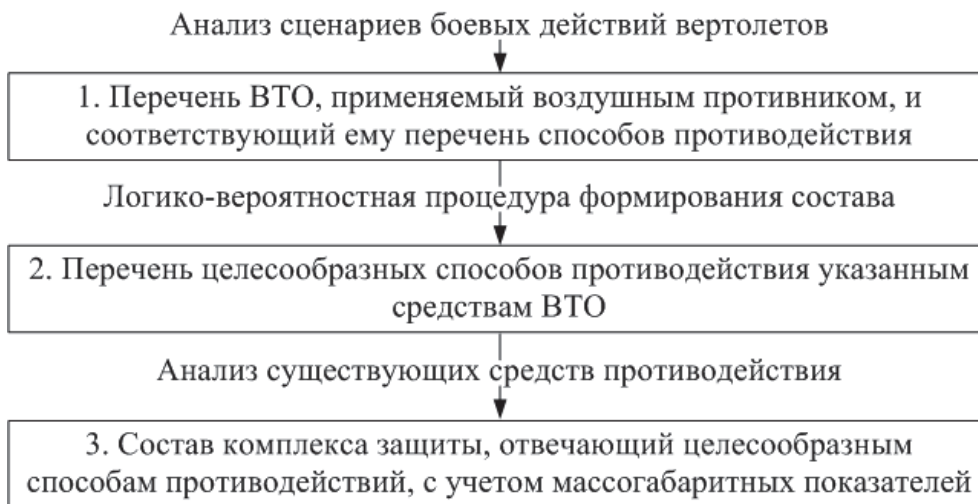


Рисунок 1 – Последовательность действий обоснования состава комплекса защиты вертолета от АКП

Осуществление указанных операций позволит определить наиболее актуальные способы противодействия рассматриваемым средствам ВТО и соответственно обосновать номенклатуру устройств комплекса для их определения. Это позволит путем перебора сформировать возможные варианты состава.

Наибольший интерес представляет процесс определения целесообразных способов противодействия вертолета атакующим АСП АКП на основе применения логико-вероятностной процедуры формирования состава с использованием специальных показателей «важности» [2].

Процесс функционирования комплекса защиты вертолета в результате анализа типовых боевых ситуаций может быть описан с помощью функций алгебры логики (ФАЛ):

$$F\{p_j\} = \bigvee_{(C)} \left[\bigwedge_{j \in K} (p_j)^{a_j} f_j\{p_j\} \right], \tag{1}$$

где \vee, \wedge – операции логического сложения и умножения;

C – исходное множество средств ВТО, используемых противником в процессе ведения боевых действий;

K – общее множество способов боевого применения комплекса защиты вертолета при отражении атак АКП с применением указанных средств ВТО;

p_j – логическая переменная, отображающая способ боевого применения (противодействия) комплекса защиты от средств ВТО противника $j \in K$;

a_j – коэффициент, характеризующий принадлежность способа p_j к рассматриваемому средству ВТО (равен нулю или единице);

$f_j\{p_j\}$ – ФАЛ произвольного вида, описывающая качественные (логические) условия боевого применения объекта разведки.

С целью полноты рассмотрения совокупности способов противодействия p_j $j \in K$ примем, что $f_j\{p_j\}=1$, кроме того, будем считать, что условия боевого применения позволяют использовать противнику в процессе боевых действий любой тип ВТО. В этом случае выражение (1) преобразуется к виду:

$$F\{p_j\} = \bigvee_{(C)} \left[\bigwedge_{j \in K} (p_j)^{a_j} \right]. \quad (2)$$

Полученная функция алгебры логики (2) описывает множество всех способов противодействия вертолета, применимых в процессе ведения боевых действий при защите от используемых противником средств ВТО.

В работах [3, 4] предложены специальные характеристики, позволяющие количественно оценить роль аргументов ФАЛ при вычислении ее истинности – вес, информативность и значимость.

В нашем случае в качестве аргументов ФАЛ используются логические переменные p_j , отображающие совокупность возможных способов противодействия, а показатели их важности могут служить основанием для обоснования целесообразных способов и, следовательно, требуемого функционального состава комплекса.

В соответствии с правилами, приведенными в [4], ФАЛ (2) необходимо представить в ортогональной дизъюнктивной нормальной форме (ОДНФ) и определить «вес» q_{p_j} , ($j \in K$) каждого способа по формуле:

$$q_{p_j} = \frac{\sum_{n=1}^m 2^{K-(r_\varphi-1)} - \sum_{m=1}^n 2^{K-(r_\psi-1)}}{2^K}, \quad (3)$$

где m, n – число конъюнкций в ФАЛ (2), представленной в ОДНФ, содержащих p_j и \bar{p}_j соответственно;

«–» – знак логического отрицания;

r_φ, r_ψ – ранги элементарных конъюнкций, содержащих p_j и \bar{p}_j соответственно. Здесь $\bar{p}_j = 1 - p_j$.

Физическая сущность показателя «вес» заключается в том, что он характеризует частоту применения рассматриваемого способа противодействия при решении задач, стоящих перед комплексом защиты вертолета от всего перечня ВТО, используемого противником.

Для сравнительной оценки способов наряду с показателем «вес» используется «информативная достаточность» способа противодействия J_{p_j} , ($j \in K$), характеризующая количество информации, получаемой комплексом в результате обнаружения средств ВТО противника. «Информативная достаточность» способа рассчитывается по формуле [4]:

$$J_{p_j} = \sum_{i=1}^l P\left(\frac{C_i}{p_j}\right) \log_2 P\left(\frac{C_i}{p_j}\right) - \sum_{i=1}^l P(C_i) \log_2 P(C_i), \quad (4)$$

где $P(C_i)$ – априорная вероятность использования самолетом-перехватчиком ВТО C_i при уничтожении вертолетов;

$P\left(\frac{C_i}{p_j}\right)$ – апостериорная вероятность принадлежности способа p_j объекту противодействия C_i ;

l – число типов ВТО, используемых противником в процессе боевых действий.

При отсутствии количественной информации о $P(C_i)$ ее можно определить в предположении, что использование любого типа ВТО C_i противником в процессе боевых действий равновероятно. Вероятности $P\left(\frac{C_i}{p_j}\right)$ определяются на основе анализа общих описательных моделей средств ВТО противника и решения задачи о принадлежности способа p_j обнаруженному объекту C_i .

Для оценки влияния на эффективность функционирования комплекса защиты каждого способа противодействия используется понятие «значимость» способа, которое рассчитывается по формуле [4]:

$$\xi_{p_j} = \frac{dP_p \{y(p_1, \dots, p_k) = 1\}}{dP_j(p_j = 1)} = P_{p_1}^{(p)}(y_1^{(p)}(p_1, \dots, p_k)) - P_{p_0}^{(p)}(y_0^{(p)}(p_1, \dots, p_k)), \quad (5)$$

где $P_{p_1}^{(p)}, P_{p_0}^{(p)}$ – эффективности решения задач защиты вертолета комплексом с применением рассматриваемого способа p_j и без него;

$y_1^{(p)}(p_1, \dots, p_k), y_0^{(p)}(p_1, \dots, p_k)$ – единичная и нулевая функции ФАЛ (2), представленной в ОДНФ.

«Значимость» способа ξ_{p_j} характеризует приращение качества функционирования комплекса при условии, что вероятность использования способа p_j изменяется от нуля до единицы при заданных (фиксированных) значениях вероятностей использования остальных способов.

Величины $P_{p_1}^{(p)}, P_{p_0}^{(p)}$ определяются из вероятностей функции, полученной из ФАЛ (2), представленной ОДНФ по следующим правилам [4]:

- операции логического умножения и сложения заменяются операциями арифметического умножения и сложения;
- каждая логическая переменная в ОДНФ заменяется вероятностью ее равенства единице.

Рассчитанные по приведенной выше методике показатели «важности» способов противодействия позволяют оценить их роль при решении задач защиты и обосновать перечень целесообразных устройств, их реализующих, т. е. определить функциональный состав комплекса.

Воспользуемся данной методикой обоснования состава РЭК обороны вертолета от перспективных воздушных средств ПВО противника на конкретном примере.

Анализ основных угроз подразделений АА показал, что в процессе боевых действий для поражения вертолетов самолет-перехватчик может использовать следующие средства ВТО: управляемые ракеты с инфракрасной C_1 , телевизионной C_2 , радиолокационной C_3 и полуактивной лазерной C_4 головками самонаведения. Кроме того, известны следующие способы радиоэлектронной борьбы, применяемые как вертолетными комплексами, так и комплексами, размещенными на других носителях. Это постановка пассивных помех в виде выстреливаемых дипольных отражателей p_1 ; постановка комбинированных пассивных помех на основе аэрозольных образований с включением элементов из углеродисто-волоконного материала p_2 ; постановка аэродинамических ЛЦ p_3 , переотражающих зондирующий сигнал БРЛС АКП с параметрами истинной цели (вертолета); постановка активных маскирующих помех в диапазоне работы средств разведки АКП p_4 ; постановка активных модулированных прицельных по частоте помех p_5 ; постановка активных имитирующих помех p_6 ; функциональное поражение ОЭС наведения УР мощным лазерным излучением p_7 ; постановка ИК ложных целей p_8 .

Приведенному перечню средств ВТО, используемых истребителями при перехвате воздушных целей, поставим в соответствие следующие комбинации способов радиоэлектронного противодействия вертолетов:

$$\begin{aligned} C_1 &\rightarrow p_7, p_8; \\ C_2 &\rightarrow p_2, p_4, p_5, p_7; \\ C_3 &\rightarrow p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6; \\ C_4 &\rightarrow p_2, p_7, p_8. \end{aligned} \tag{6}$$

Функция алгебры логики (2) в данном случае запишется в виде:

$$F_1\{p_j\} = p_7 p_8 \vee p_2 p_4 p_5 p_7 \vee p_1 p_2 p_3 p_4 p_5 p_6 \vee p_2 p_7 p_8. \tag{7}$$

ОДНФ данной ФАЛ имеет вид:

$$y = p_2 p_7 p_8 \vee \bar{p}_2 p_7 p_8 \vee p_2 p_4 p_5 p_7 \bar{p}_8 \vee p_1 p_2 p_3 p_4 p_5 p_6 \bar{p}_7 \bar{p}_8. \tag{8}$$

Из (8) по формуле (3) получим следующие «веса» способов противодействия: $g_{p_1} = g_{p_3} = g_{p_6} = 0,008$; $g_{p_2} = g_{p_4} = g_{p_5} = 0,063$; $g_{p_7} = 0,555$; $g_{p_8} = 0,430$.

Будем считать, что применение средств ВТО $C_i (i=1...4)$ авиационным комплексом перехвата для поражения вертолета – события несовместные и равновероятные $P(C_i) = 1/4$, и что применяя способ $p_j (j=1...8)$, он может быть равновероятно противопоставлен средствам ВТО, к которым он относится в соответствии с выражением (6). Тогда на основании формулы (4) получим значения «информативной достаточности»: $J_{p_1} = J_{p_3} = J_{p_6} = 2$; $J_{p_2} = J_{p_7} = 0,4$; $J_{p_4} = J_{p_5} = J_{p_8} = 1$.

Оставляя в исходной ФАЛ способы в соответствии с правилом $\max\{g_{p_j} \times J_{p_j}\}$ [1], получаем:

$$F_1\{p_j\} = p_7 p_8 \vee p_2 p_4 p_5 p_7 \vee p_2 p_4 p_5 \vee p_2 p_7 p_8. \tag{9}$$

При небольшом числе способов ($k < 10$) определение их «значимости» может быть упрощено с помощью алгоритма, основанного на табличном методе расчета. Табличный метод, применительно к решаемой задаче, включает следующие процедуры [4]:

1. Представление ФАЛ (9) в матричном виде:

$$F_1\{p_j\} = \begin{bmatrix} p_7 p_8 \\ p_2 p_4 p_5 p_7 \\ p_2 p_4 p_5 \\ p_2 p_7 p_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix}, \tag{10}$$

где через θ обозначены конъюнкции ФАЛ (9), то есть кратчайшие пути успешного функционирования комплекса защиты.

2. Составление таблицы расчета «значимости» способов защиты, состоящей из k строк (по числу способов). В названиях строк указываются вероятности равенства способов единице $P_j (p_j=1) = R_j$, а в названиях столбцов – все возможные сочетания конъюнкций θ_i , взятых по одной, по две, по три и т. д. Кроме того, указываются чередующиеся знаки вероятностей этих конъюнкций («+» или «-»).

3. Заполнение таблицы расчета «значимости» крестиками и черточками, отмечая крестиками вероятности тех способов, которые входят в данную конъюнкцию, а черточками – вероятности способов, отсутствующих в ней (таблица 1).

4. Вычеркивание из таблицы одной строки, соответствующей рассматриваемому способу p_j .

5. Вычеркивание из таблицы всех столбцов, в которых способ p_j отсутствует.

6. Перемножение во всех оставшихся столбцах вероятностей тех способов, которые оказались отмечены крестиками.

7. Суммирование результата пункта 6 с учетом знаков «+» и «-» в таблице.

Таблица 1 – Расчет «значимости» способов защиты формируемого комплекса

	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	$\theta_1\theta_2$	$\theta_1\theta_3$	$\theta_1\theta_4$	$\theta_2\theta_3$	$\theta_2\theta_4$	$\theta_3\theta_4$	$\theta_1\theta_2\theta_3$	$\theta_1\theta_2\theta_4$	$\theta_1\theta_3\theta_4$	$\theta_2\theta_3\theta_4$	$\theta_1\theta_2\theta_3\theta_4$
	«+»				«-»						«+»				«-»
R_2	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
R_4	-	X	X	-	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X
R_5	-	X	X	-	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X
R_7	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
R_8	X	-	-	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X

Будем считать, что вероятность применения всех способов одинакова и равна $R_j=R=0,5$, тогда показатель «значимость» для каждого из способов примет следующие значения: $\xi_{p_2}=\xi_{p_4}=\xi_{p_5}=R^2-R^4=0,19$; $\xi_{p_7}=\xi_{p_8}=R-R^4=0,44$.

Следовательно, наиболее целесообразными способами противодействия комплекса защиты вертолета от воздушных средств поражения противника являются: постановка комбинированных пассивных помех на основе аэрозольных образований с включением элементов из углеродисто-волоконного материала (p_2), постановка активных маскирующих помех в диапазоне работы средств наведения УР (p_4), постановка активных модулированных прицельных по частоте помех (p_5), функциональное поражение ОЭС наведения УР мощным лазерным излучением (p_7) и постановка ИК ложных целей (p_8).

Поэтому в состав РЭК обороны вертолета должны входить устройства, обеспечивающие выполнение данных способов противодействия с учетом средств разведки, РЭПр и контроля эффективности РЭПр. При этом, для рассматриваемой ситуации, на основании значений показателя «значимость», предпочтение должно отдаваться способам p_7 и p_8 . Данный пример носит качественный характер и свидетельствует о работоспособности предложенной методики.

Таким образом, разработана методика обоснования состава комплекса обороны вертолета от АКП на основе определения целесообразных способов противодействия средствам управления оружием воздушного противника. Применение аппарата алгебры логики и теории вероятности позволило получить количественные значения показателей «важности» способов противодействия вертолета при отражении атак АКП и обосновать перечень целесообразных устройств, их реализующих.

Список использованных источников

1. Обнаружение и координатометрия оптико-электронных средств, оценка параметров их сигналов / Под ред. Ю. Л. Козирацкого. – М.: Радиотехника, 2015. – 456 с.
2. Донцов А.А., Ильичев А.М., Козирацкий Ю.Л., Крутов Н.Г. Логико-вероятностная процедура формирования состава средств противодействия в условиях конфликтного взаимодействия сторон // Радиотехника. Информационный конфликт в спектре электромагнитных волн. – 1999. – № 6. – С. 16-20.
3. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Построение систем распознавания. – М.: Советское радио, 1974. – 699 с.
4. Рябинин М.А., Черкесов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. – М.: Радио и связь, 1981. – 264 с.