

УДК 623.746.352

Б. Н. ЛАНЕЦКИЙ,*доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины,***В. В. ЛУКЬЯНЧУК,** *кандидат технических наук, старший научный сотрудник,***И. М. НИКОЛАЕВ,** *кандидат технических наук, старший научный сотрудник,***Ю. В. ТРОФИМЕНКО,** *научный сотрудник**(Харьковский национальный университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, г. Харьков)*

Оценка возможности и условий применения высокоскоростной крылатой ракетой противоракетного маневра и радиоэлектронных помех для преодоления зоны противовоздушной обороны

На основі результатів моделювання проаналізовано умови подолання високошвидкісною крилатою ракетою (КР) зони ураження зенітного ракетного комплексу (ЗРК) при застосуванні протиракетного маневру (ПРМ) і активних шумових перешкод (АШП) ретрансляційного типу. Наведені результати дослідження параметрів пікірування і кабрирування КР на величину промаху зенітної керованої ракети (ЗКР). Показано, що величина промаху ЗКР і ймовірність неуразення КР залежать від виду, параметрів КР і ЗКР і відстані між ними в момент початку маневру. Визначені діапазони відстаней між КР і ЗКР у момент початку маневру, при яких досягаються необхідні значення ймовірності неуразення КР. Показано, що застосування АШП дозволяє знизити вимоги до параметрів ПРМ. Сформульовані основні завдання і принципи функціонування бортового комплексу протидії, яким доцільно оснащувати КР для ефективного подолання зон ураження сучасних зенітних ракетних комплексів.

Ключові слова: крилата ракета, протиракетний маневр, активна шумова перешкода, пікірування, кабрирування, подолання зони ППО, промах, ймовірність неуразення.

Опыт локальных войн и военных конфликтов конца XX – начала XXI века показал, что для повышения выживаемости ударных летательных аппаратов (ЛА) в зоне действия средств противовоздушной обороны (ПВО) широко использовался противоракетный маневр (ПРМ), который осуществлялся, как правило, под прикрытием радиоэлектронных помех [1, 2]. Маневр выполнялся в зонах пуска и поражения зенитных ракетных комплексов (ЗРК) с целью уклонения ЛА от встречи с зенитной управляемой ракетой (ЗУР) путем резкого изменения курса, высоты и скорости полета при обнаружении с помощью специальной аппаратуры запуска ЗУР.

Важная роль в достижении целей локальных войн и военных конфликтов современности отводилась крылатым ракетам (КР), которые широко применялись на всех этапах ведения боевых действий [3]. Опыт применения КР в локальных войнах и военных конфликтах конца XX – начала XXI века показал, что КР являются мощной системой вооружения, способной уничтожать объекты, хорошо защищенные средствами ПВО. Возрастание роли КР в достижении целей войны выдвинуло на первый план задачу поиска эффективных способов и средств борьбы с данным видом оружия [4, 5].

Важная роль в решении этой задачи отводится зенитным ракетным системам и комплексам, которые оснащаются ЗУР, обладающими высокими маневренными и скоростными характеристиками [6]. Постоянное совершенствование зенитного ракетного оружия вынуждает разработчиков КР изыскивать более эффективные способы и средства повышения их выживаемости при преодолении зон современной системы ПВО, основу которой составляют ЗРК различной дальности действия [5, 6, 7]. В техническом плане эта задача может быть сведена к оснащению КР бортовыми комплексами обороны (БКО) [8], повышению их маневренных свойств и увеличению скорости полета до 750–1200 м/с, что в 3–5 раз превышает скорость полета КР типа «Tomahawk». В качестве способов и средств противодействия средствам ПВО рассматривается уклонение от встречи с ЗУР за счет совершения противоракетного маневра (ПРМ) с перегрузками более 20 единиц при одновременной постановке активных шумовых помех (АШП) РЛС наведения и головкам самонаведения (ГСН) ЗУР. В связи с этим задача оценки возможности применения высокоскоростными КР противоракетного маневра и АШП ретрансляционного типа для преодоления зоны ПВО является актуальной.

Целью статьи является оценка возможности и условий снижения вероятности поражения высокоскоростной КР в зоне поражения ЗРК при совместном применении АШП ретрансляционного типа и интенсивного противоракетного маневра в вертикальной плоскости.

Теоретические основы построения БКО ЛА военного назначения изложены в монографии [9], в которой рассмотрены основные функции БКО, показатели эффективности БКО и его подсистем, проанализированы основные подсистемы комплексов индивидуальных и групповых средств РЭБ авиационного базирования. Теоретические основы радиоэлектронного подавления (РЭП)

информационных каналов систем управления оружием рассмотрены в монографии [10], в которой приведена методика оценки энергетических требований с учетом различных факторов, сопутствующих постановке радиоэлектронных помех, описаны методы и техника создания помех РЛС различных типов и назначений.

В работах [11, 12] исследуются отдельные вопросы повышения эффективности применения беспилотными ЛА противоракетного маневра как способа уклонения от управляемых средств поражения применительно к конкретным типам ЛА и решаемым ими задачам. В частности, в [11] приведены результаты исследования вероятности перехвата беспилотных ЛА на примере ракеты-мишени РМ-5В27 при реализации различных траекторий движения, рассмотрено влияние параметров движения ракет-мишеней на промах ЗУР. На основании результатов моделирования показана возможность снижения вероятности перехвата маневрирующей цели до 0,25–0,35. Однако представленные в [11] результаты получены при скорости полета ЗУР 600–700 м/с, скорости полета ракеты-мишени 280–300 м/с и перегрузках ЗУР и РМ не более 10 и 8 единиц соответственно. В [12] предложен способ выбора конфигурации маневров аэробаллистических ЛА без двигательной установки при преодолении ими зон контроля воздушного пространства средствами противоракетной и противовоздушной обороны. Проверка маневров на эффективность осуществлялась методом моделирования перехвата аэробаллистического ЛА при любом исходном расположении стартовых позиций ЗУР относительно охраняемого объекта.

В работах [13–16] исследуются отдельные вопросы повышения эффективности наведения ЗУР на высокоскоростные маневрирующие цели. В частности, в [13] на основании результатов моделирования полета ЛА и наводимого на него самолета проведен анализ предложенного авторами алгоритма самонаведения, позволяющего применять его для перехвата высокоманевренных гиперзвуковых целей. В качестве показателей эффективности синтезированного алгоритма выбрано конечное значение промаха. Показано, что вид траектории перехвата, а соответственно и затраты энергии на управление перехватчиком, зависят от соотношения его скорости и скорости гиперзвукового ЛА и вида маневра последнего. В [14] проведен синтез и оценка эффективности предложенного авторами алгоритма траекторного управления ЛА, обеспечивающего его самонаведение на маневрирующие воздушные цели, которые совершают маневры «кобра», «колокол» и «мангуст». В [15] предложены методика и приведены результаты исследования влияния начальных параметров старта ЗУР на величину ее возможного промаха при наведении на маневрирующую цель по методу пропорционального сближения. В [16] предложена имитационная модель, позволяющая исследовать различные виды маневров, выполняемых самолетом тактической авиации с разными скоростями и интенсивностью. Модель позволяет формировать входные задающие воздействия для системы управления полетом ЗУР, а также наглядно

продемонстрировать движение цели, выполняющей заданный вид маневра уклонения.

Результаты исследования влияния помех на систему наведения ЗУР, радиовзрыватель и каналы его настройки приведены в [17], где показано, что при воздействии помех вероятность поражения цели может быть снижена до уровня 0,07–0,2.

Анализ результатов приведенных исследований показывает, что в них отсутствуют количественные оценки, характеризующие эффективность преодоления зоны поражения ЗРК высокоскоростными малоразмерными крылатыми ракетами при совместном применении АШП самоприкрытия и противоракетного маневра, выполняемого с перегрузками более 20 единиц при скорости полета 800 м/с и более. Недостаточная изученность данного вопроса обуславливает необходимость проведения дальнейших исследований в этом направлении.

Одним из важных факторов выживаемости КР в зоне действия средств ПВО является способность уклоняться от наводимых на нее управляемых средств поражения. К приемам уклонения относятся обход зон поражения ЗРК и выполнение различных видов маневра.

Выполнение маневра направлено на снижение эффективности боевого применения средств ПВО. По времени и месту выполнения маневр можно разделить на маневр против управления и маневр против стрельбы (противоракетный). Маневр против стрельбы выполняется в зонах пуска и поражения ЗРК с целью снижения эффективности стрельбы ЗУР. Эффективность маневра как способа уклонения от встречи с ЗУР базируется на особенностях систем наведения ЗУР, к которым относятся инерционность ракеты, инерционность системы управления и особенности (специфика) обработки сигналов в системе управления.

Применительно к КР к маневрам против стрельбы можно отнести:

в вертикальной плоскости – пикирование, кабрирование или горка с углами наклона до 60° для обхода зон поражения ЗРК соответственно снизу и сверху;

в горизонтальной плоскости – маневр «змейка», а также обход зон поражения ЗРК справа или слева по курсу полета КР.

Маневр КР приводит к существенному сокращению времени ее нахождения в зоне поражения ЗРК, а следовательно, к снижению вероятности ее поражения, значение которой определяется величиной промаха ЗУР h_k на конечном этапе встречи с КР (целью). Под конечным промахом h_k будем понимать абсолютную величину минимального расстояния между центрами масс ЗУР и КР в картинной плоскости.

Вероятность поражения маневрирующей КР зависит не только от величины конечного промаха h_k , но и от эффективного радиуса ее поражения $R_{эф}$ боевым снаряжением ЗУР, величина которого характеризует требуемую точность наведения ЗУР с неконтактными взрывателями [9, 16]:

$$P_{Псп} = \frac{1}{1 + \frac{h_k^2}{R_{эф}^2}}. \quad (1)$$

Задачей маневра уклонения является выполнение полета КР по такой траектории, при которой конечный промах h_k ЗУР превысит заданное значение $h_{зад}$, определяемое эффективным радиусом $R_{эф}$ срабатывания неконтактного датчика цели боевого снаряжения ракеты, т. е. $h_k > h_{зад} \geq R_{эф}$. На величину промаха оказывают влияние метод наведения ЗУР, который определяет вид траектории ее сближения с целью, параметры, определяющие начальное положение КР относительно ЗУР в момент ее старта, соотношение маневренных возможностей и скоростей полета ЗУР и КР, а также всякого рода внешние и внутренние случайные воздействия. На практике для получения оценок вероятности поражения маневрирующей цели используются имитационно-математические модели, в основе которых лежит модель контура наведения ЗУР.

В рамках данной работы оценка возможности и условия применения КР маневра против стрельбы проводилась с использованием имитационной модели при следующих допущениях [11, 16]:

цель (КР) маневрирует в вертикальной плоскости с заданным мгновенным поперечным ускорением;

наведение ЗУР на маневрирующую КР осуществляется по методу пропорционального сближения;

ЗУР рассматривается как материальная точка, а ее система управления не имеет инерционности и ошибок; кривизна траектории ЗУР ограничена величиной располагаемых перегрузок;

движение ЗУР и КР рассматривается в нормальной земной (стартовой) системе координат, которая полагается инерциальной;

ограниченный запас топлива, влияние скорости ветра, плотность воздуха в точке нахождения ЗУР не учитываются.

в качестве показателя эффективности наведения ЗУР использовались текущие значения промаха, величина которого определялась по формуле

$$\bar{h} = D^2 \varepsilon' / V_{сбл}, \quad (2)$$

где D – дальность между ЗУР и КР в момент прекращения самонаведения, ε' – угловая скорость вращения линии визирования «ЗУР–КР», $V_{сбл}$ – скорость сближения ЗУР с КР.

Моделирование проводилось для двух видов маневра: пикирования и кабрирования КР под заданными углами с заданной поперечной перегрузкой. При этом для оценки влияния вида, глубины и интенсивности маневра КР на величину промаха ЗУР были выбраны три значения высоты, на которую выходила КР после завершения маневра (5, 10 или 15 км), три значения углов пикирования/кабрирования $\varepsilon = 30^\circ$, 45° или 60° и два значения поперечных перегрузок $W = 12$ и 24 ед. Средняя скорость ЗУР при моделировании принималась равной 800 м/с, а ее поперечные располагаемые перегрузки $W_{ЗУР} = 20$ ед.

Примеры реализации траекторий полета ЗУР и КР, полученные в процессе моделирования, показаны на рис. 1.

Кривые зависимости величины промаха ЗУР от наклонной дальности между ЗУР и КР в момент начала маневра КР для указанных выше условий моделирования изображены на рис. 2–4.

Из рис. 2–4 видно, что величина промаха ЗУР h достигает максимального значения при некотором оптимальном значении ΔD между ЗУР и КР, при котором КР начинает совершать маневр. При увеличении угла ε величина конечного промаха возрастает, при этом расстояние ΔD , при котором значение конечного промаха достигает максимального значения, также возрастает.

С уменьшением в два раза поперечной перегрузки W , с которой КР начинает совершать маневр, величина промаха также уменьшается примерно в два раза, при этом величина наклонной дальности ΔD между ЗУР и КР, при которой значение конечного промаха достигает максимального значения, увеличивается примерно на 20%. Результаты моделирования коррелируют с ранее известными зависимостями промаха ЗУР от параметров движения воздушных целей [11–16].

Значения наклонной дальности ΔD между ЗУР и КР в момент начала маневра, при которой достигается максимальная величина промаха ЗУР, и соответствующие значения вероятности непоражения КР в зависимости от вида и параметров маневра приведены в табл. 1.

Из формулы (1) следует, что для обеспечения вероятности поражения $P_{Пкр} \leq 0,1$ величина конечного промаха должна удовлетворять условию $h_k \geq 3R_{эф}$, а при $P_{Пкр} \leq 0,2$ условию $h_k \geq 2R_{эф}$. На практике удобнее пользоваться вероятностью непоражения $P_{НПкр} = 1 - P_{Пкр}$, значение которой определяет эффективность преодоления КР зоны поражения ЗРК. При расчетах величина $R_{эф}$ принималась равной 70 м. В этом случае для обеспечения вероятности непоражения маневрирующей КР на уровне не менее $0,9$ (или вероятности поражения не более $0,1$) величина конечного промаха ЗУР должна быть не менее 210 м. Этому условию не удовлетворяют маневры пикирования/кабрирования, выполняемые КР с перегрузкой $W = 12$ ед. при $\varepsilon = 30^\circ$ (рис. 3), а также кабрирование КР с перегрузкой $W = 12$ ед. при $\varepsilon = 45^\circ$ (рис. 4.) и $\varepsilon = 60^\circ$ (рис. 5).

При вероятности непоражения $0,8$ и $0,7$ величина конечного промаха ЗУР должна быть не менее 140 м и 105 м соответственно.

Основным фактором, оказывающим влияние на величину промаха ЗУР, а следовательно, и на вероятность непоражения маневрирующей КР, является значение наклонной дальности ΔD между ЗУР и КР в момент начала последней противоракетного маневра. Анализ влияния параметров маневра на эффективность преодоления КР зоны зенитного ракетного огня представлен в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что пикирование является более эффективным видом противодействия наведению ЗУР, чем кабрирование. С увеличением угла пикирования/кабрирования диапазон наклонных дальностей ΔD , при которых обеспечивается заданный уровень вероятности непоражения КР наводимой на нее ЗУР, расширяется.

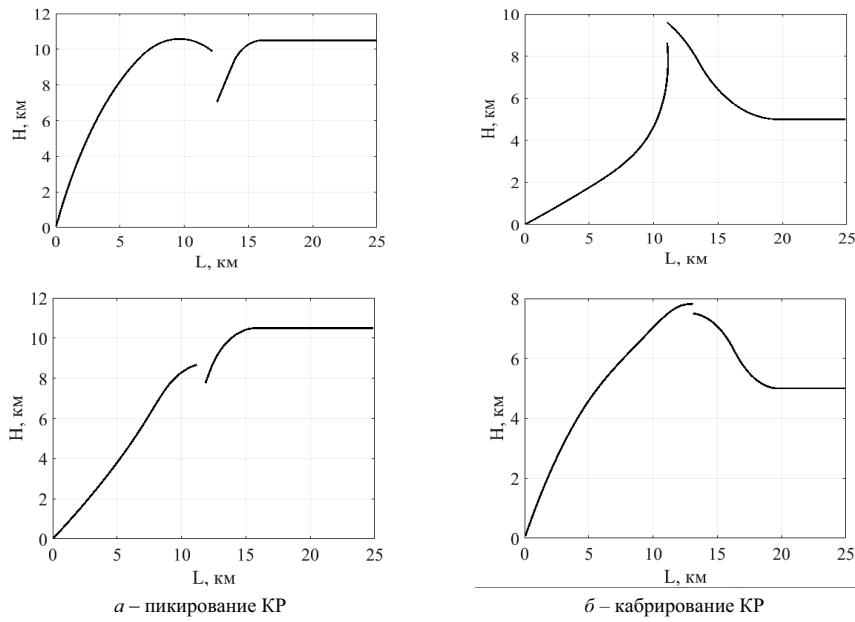


Рис. 1. Реализации траекторий ЗУР и КР при выполнении КР пикирования и кабрирования с различными параметрами

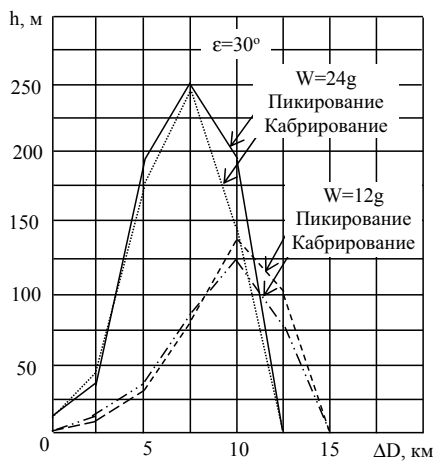


Рис 2. Кривые зависимости величины промаха ЗУР от наклонной дальности между ЗУР и КР при угле пикирования/кабрирования $\epsilon = 30^\circ$

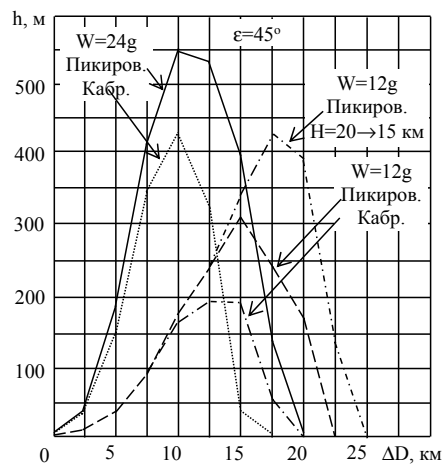


Рис 3. Кривые зависимости величины промаха ЗУР от наклонной дальности между ЗУР и КР при угле пикирования/кабрирования $\epsilon = 45^\circ$

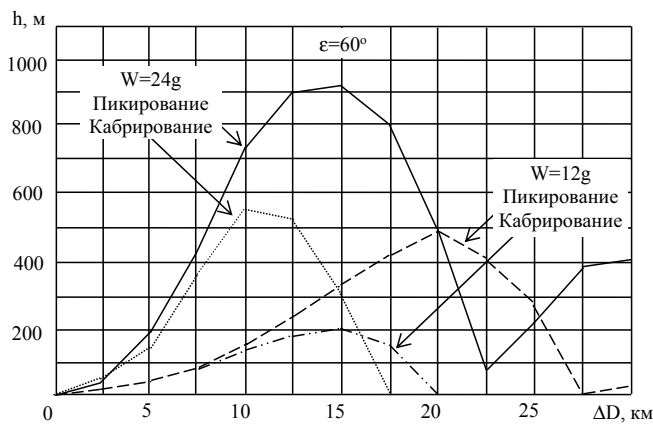


Рис 4. Кривые зависимости величины промаха ЗУР от наклонной дальности между ЗУР и КР при угле пикирования/кабрирования $\epsilon = 60^\circ$

Таблица 1. Значения наклонной дальности ΔD (км) между ЗУР и КР в момент начала маневра, при которой достигается максимальная величина конечного промаха ЗУР в точке встречи с КР, и вероятности непоражения КР (в скобках)

Диапазон высот ΔH , км	Пикирование					
	$\epsilon=30$		$\epsilon=45$		$\epsilon=60$	
	W=24g	W=12g	W=24g	W=12g	W=24g	W=12g
5	7,5 (0,93)	10,0 (0,96)	12,5 (0,98)	17,5 (0,97)	15,0 (0,99)	17,5 (0,97)
10	7,5 (0,93)	12,5 (0,79)	15,0 (0,98)	15,0 (0,95)	15,0 (0,99)	20,0 (0,98)
15	10,0 (0,93)	10,0 (0,79)	10,0 (0,98)	15,0 (0,95)	15,0 (0,99)	20,0 (0,98)
Диапазон высот ΔH , км	кабрирование					
	$\epsilon=30$		$\epsilon=45$		$\epsilon=60$	
	W=24g	W=12g	W=24g	W=12g	W=24g	W=12g
5	7,5 (0,88)	11,0 (0,69)	7,5 (0,97)	11,0 (0,69)	10,0 (0,96)	11,0 (0,69)
10	7,5 (0,9)	10,0 (0,7)	10,0 (0,95)	12,5 (0,82)	10,0 (0,98)	12,5 (0,82)
15	7,5 (0,92)	10,0 (0,76)	10,0 (0,97)	12,5 (0,87)	10,0 (0,99)	15,0 (0,9)

Результаты моделирования показывают, что вероятность непоражения КР $P_{\text{нпкр}} = 0,9$ в зоне поражения ЗРК может быть достигнута в том случае, когда КР выполняет маневр пикирования/кабрирования под углом не менее 45° . с перегрузкой 24 ед. при наклонной дальности между ЗУР и КР в момент начала маневра в диапазоне от 5 до 16 км. С уменьшением перегрузки, с которой КР совершает маневр, диапазон наклонных дальностей ΔD смещается вправо (в сторону больших значений ΔD).

Следует ожидать, что в будущей войне КР для преодоления зон ПВО наряду с противоракетным маневром будут применять АПП ретрансляционного типа. Основная цель постановки помех – исключить или затруднить обнаружение и уничтожение КР на всех стадиях подготовки, пуска и наведения ЗУР противника. Применение АПП приводит к «сжатию» зон обнаружения и поражения ЗРК, что, в свою очередь, ведет к сокращению времени, необходимого расчету ЗРК для подготовки пуска ЗУР. Постановка помех на этапе обнаружения КР приводит к нарушению функционирования РЛС ЗРК при выполнении операций поиска и опознавания цели в зоне обзора, а также получения данных о траектории цели [10, 11]. Это, в свою очередь, приводит к невыполнению РЛС ее главной задачи на начальном

этапе – передачи на пункт управления огнем информации, необходимой для выдачи команды на пуск и ввода в запоминающее устройство ЗУР необходимых данных для расчета алгоритма полета в заданную точку встречи с целью.

Кроме РЛС ЗРК подавлению помехами должны подвергаться и радиолокационные ГСН ЗУР. Точность измерения угловых координат цели бортовым координатором ЗУР определяется отношением ширины диаграммы направленности антенны (ДНА) ГСН к величине отношения сигнал/(шум+помеха). Анализ показывает, что при уменьшении отношения сигнал/(помеха+шум) за счет воздействия АПП в 10 раз величина промаха ЗУР в точке встречи составит от 100 до 250 м. При $R_{\text{эф}}=70$ м вероятность поражения КР в условиях воздействия АПП составит 0,07..0,35. Полученные оценки достаточно хорошо согласуются с результатами исследования влияния помех на эффективность боевого применения ЗУР с неконтактным датчиком цели, приведенными в [14].

Возможность применения АПП для преодоления зоны зенитного ракетного огня определяется энергетическими, массовыми и габаритными характеристиками станции активных помех (САП), которую необходимо разместить на борту КР. Эти характеристики, в свою очередь, определяются величиной эффективной

Таблица 2. Значения наклонной дальности ΔD (км) между ЗУР и КР в момент начала маневра, при которых обеспечивается заданное значение вероятности непоражения КР

Вероятность непоражения КР	а) перегрузка W=24 ед.					
	Пикирование			Кабрирование		
	$\epsilon=30^\circ$	$\epsilon=45^\circ$	$\epsilon=60^\circ$	$\epsilon=30^\circ$	$\epsilon=45^\circ$	$\epsilon=60^\circ$
0,9	5,6–9,0	5,0–16,8	5,0–21,5	6,3–7,5	6,0–13,5	6,0–16,0
0,8	3,8–11,3	4,0–17,0	4,0–22,0	3,8–10,7	5,0–13,8	5,0–16,3
0,7	3,5–11,7	3,2–17,7	3,3–22,5	3,5–11,4	3,8–14,0	3,5–16,8
Вероятность непоражения КР	б) перегрузка W=12 ед.					
	Пикирование			Кабрирование		
	$\epsilon=30^\circ$	$\epsilon=45^\circ$	$\epsilon=60^\circ$	$\epsilon=30^\circ$	$\epsilon=45^\circ$	$\epsilon=60^\circ$
0,9	–	10,6–18,8	11,5–25,5	–	–	–
0,8	8,6–11,8	8,8–21,2	9,5–25,9	8,8–10,6	8,6–16,0	11,2–17,5
0,7	7,0–13,0	8,0–21,3	8,0–26,4	7,0–12,5	7,5–16,2	8,2–18,1

отражающей поверхности (ЭОП) КР и энергетическими характеристиками РЛС сопровождения целей и наведения ракет, к которым относятся мощность передатчика, чувствительность приемника, вид и параметры диаграммы направленности антенны, а также потери в приемно-передающем тракте. Если при каких-либо значениях эффективной отражающей поверхности, скорости и высоты цели реализуемая дальность действия РЛС оказывается меньше потребной, то это приведет к сокращению расчетной зоны поражения ЗРК, т. е. к уменьшению предельной дальности стрельбы.

При применении АШП и ПРМ вероятность непоражения КР $P_{НПКР} = 1 - P_{ПКР\text{ ПРМ}} \cdot P_{ПКР\text{ АШП}}$, где $P_{ПКР\text{ ПРМ}}$ – вероятность поражения КР при применении ею противоракетного маневра, $P_{ПКР\text{ АШП}}$ – вероятность поражения КР при применении АШП ретрансляционного типа.

Применение ПРМ и АШП позволит обеспечить требуемую эффективность преодоления КР зоны поражения ЗРК при снижении требований к параметрам ПРМ и АШП. В частности, при $P_{ПКР\text{ ПРМ}} = 0,2$ и $P_{ПКР\text{ АШП}} = 0,2$ вероятность непоражения КР при совместном применении ПРМ и АШП $P_{НПКР} = 1 - 0,2 \cdot 0,2 = 0,96$.

Для обеспечения возможности преодоления зоны поражения ЗРК за счет применения ПРМ и АШП в состав бортовой аппаратуры КР должна быть включена информационная подсистема, которая должна обеспечивать выдачу в исполнительную подсистему информации о моментах входа КР в зоны облучения, обнаружения и захвата (сопровождения) работающих РЛС ЗРК, о направлении (пеленге) на них, о динамике изменения относительного положения КР и РЛС, о входе КР в зоны пуска зенитных ракет и т. д. Для решения этих задач информационная подсистема КР должна обеспечивать обнаружение излучения РЛС ЗРК противника на дальности, превышающей дальность активного обнаружения ими КР, определение типа РЛС и фиксацию момента перехода РЛС ЗРК в режим прицельного сопровождения КР. В случае нескольких излучающих РЭС информационная подсистема КР должна производить ранжирование их по степени опасности, выделять из них наиболее опасную РЛС и обеспечивать выдачу данной информации в исполнительную подсистему для определения вида и параметров маневра.

При преодолении зоны зенитного ракетного огня БКО КР должен противодействовать ЗРК противника на всех этапах подготовки, пуска и наведения ЗУР. Эти этапы отличаются решаемыми задачами, алгоритмами работы, временем обработки информации и ее количеством. Переход от одного этапа работы к другому, как правило, сопровождается изменением параметров зондирующего сигнала, периода и длительности облучения объекта, вида модуляции, а следовательно, изменением информационных параметров сигнала. Этапы работы наземных информационных средств ПВО противника можно определить, измерив параметры зондирующего сигнала.

На этапе подготовки противником пуска ЗУР, когда он производит обнаружение, измерение параметров и

сопровождение КР, аппаратура БКО КР путем постановки помех РЛС ЗРК должна обеспечивать:

затруднение измерения дальности до КР, ее скорости и углового положения;

ухудшение характеристик режима сопровождения «на проходе» при сканировании луча антенны РЛС;

увеличение времени и затруднение захвата КР при переходе в режим непрерывной пеленгации (сопровождения);

ухудшение характеристик точности сопровождения при непрерывной пеленгации.

Наиболее ответственной задачей БКО КР является определение факта пуска противником ЗУР. Информация о дальности пуска и типе ЗУР позволит оценить момент захвата КР как цели ГСН ЗУР противника. С этого момента противодействие РЛС ЗРК противника должно осуществляться путем выключения передатчика АШП для срыва сопровождения КР ГСН ЗУР и выполнения интенсивного ПРМ на этапе обратного перехода ГСН ЗУР на сопровождение не прикрытой помехами КР.

Выводы.

1. Проведенные исследования свидетельствуют о возможности и целесообразности применения высокоскоростной КР противоракетного маневра для уклонения от встречи с ЗУР в зоне поражения ЗРК. Применение ПРМ является эффективным способом уклонения от ЗУР в том случае, когда КР начинает совершать маневр на расстоянии 5–16 км до ЗУР, что при скорости сближения приблизительно 1500 м/с соответствует интервалу времени от 3,3 до 10,7 с до точки встречи.

2. Применение ПРМ и АШП самоприкрытия позволит обеспечить требуемую эффективность преодоления КР зоны поражения ЗРК при снижении требований к параметрам ПРМ и АШП. После пуска ЗУР одновременно с постановкой помех (подавлением) РЛС ЗРК должно осуществляться подавление помехами ГСН и боевого снаряжения ЗУР. Излучение АШП должно осуществляться в режиме «мерцания» с периодом, равным длительности захвата цели на сопровождение РЛС ЗРК и/или ГСН ЗУР.

3. Результаты моделирования показали, что наибольшая величина промаха ЗУР, наводимой на маневрирующую КР по методу пропорционального сближения, имеет место при движении КР по криволинейным участкам траектории (т. е. при входе и выходе из пикирования или кабрирования). Наличие продолжительного прямолинейного участка пикирования (кабрирования) не приводит к возрастанию ошибок наведения, поскольку ЗУР на этих участках успевает отработать возникшую ошибку рассогласования, вследствие чего величина конечного промаха ЗУР в точке встречи с КР уменьшается вплоть до 0. Отсюда следует, что КР в зоне поражения ЗРК надо совершать интенсивный ПРМ, траектория которого должна состоять из криволинейных участков с минимальными прямолинейными участками между ними.

4. Крылатая ракета для реализации возможности уклонения от встречи с ЗУР в зоне зенитного ракетного огня за счет применения ПРМ и АШП должна быть

оснащена бортовым комплексом обороны, задачами которого являются своевременное определение и классификация угрозы, включая определение факта пуска противником ЗУР.

5. Полученные результаты могут быть использованы для обоснования облика, состава и задач, решаемых БКО КР при преодолении зон поражения современных ЗРК, параметров противоракетного маневра и помех, а также для обоснования необходимости применения в составе БКО КР устройства распознавания типов и режимов работы РЛС ЗРК по параметрам излучаемых сигналов.

6. Для оптимизации структуры и параметров бортового комплекса противодействия целесообразно разработать имитационно-математическую модель процесса наведения ЗУР на высокоскоростную малоразмерную маневрирующую цель в условиях, приближенных к условиям боевого применения КР.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Ямпольский Л. С. Обобщенный анализ применения средств воздушного нападения ОВС НАТО при проведении военной операции в Югославии «Решительная сила» и в других локальных войнах в 90-х годах : учебн. пособие. Ульяновск : УлГТУ, 2000. 80 с.
2. Маначинский А. Я. Операция НАТО «Союзная сила» против Югославии в 1999 г. (2014). URL: <http://rubicon.org.ua/index.php/j-stuff/item/148-operatsiya-nato-soyuznaya-sila-protiv-yugoslavii-v-1999-g>.
3. Сивков К. Ракетный меч США (2017). URL: <https://topwar.ru/31477-raketnyu-mech-ssha-effektivnost-krylatyh-raket-velika-no-etomu-oruzhiyu-vsegdaya-naudetsya-protivodeystvie.html>.
4. Медведь А. Н. Крылатые ракеты и как с ними бороться // Двигатель : научно-технич. журн. 2012. № 4 (82). С. 16–19. URL: <https://topwar.ru/31118-aktualnaya-tema-krylatye-rakety-i-kak-s-nimi-borotsya.html>.
5. Алесин А. Оборона против крылатых ракет: есть ли приемы против «Топора» (2017). URL: <https://www.belrynok.by/2017/04/19/oborona-protiv-krylatyh-raket-est-li-priemy-protiv-topora/>.
6. Юров Д. “Искандер” против “Patriot” (2016). URL: <https://tvzvezda.ru/news/forces/content/201610250852-ogbc.htm>.
7. Патент RU 2635022. F41H13/00. Способ маневрирования высокоскоростного беспилотного летательного аппарата в зоне возможного действия средств противоракетной и противовоздушной обороны /Д. В. Данилочев, В. В. Мальцев, Е. Н. Захаров (2017). URL: <http://www.findpatent.ru/patent/263/2634659.html>.
8. Шашков Г. Россия испытала бортовые комплексы обороны крылатых ракет (2017). URL: http://www.vladtime.ru/armiya_rossii/580575.
9. Леньшин А. В., Зиборов Г. В., Виноградов А. Д. Бортовые комплексы обороны воздушных судов : учеб.

пособие / под ред. А. В. Леньшина. К. : Научная книга, 2013. 309 с.

10. Перунов Ю. М., Фомичев К. И., Юдин Л. М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / под ред. Ю. М. Перунова. Изд. 2-е, испр и дополн. М. : Радиотехника, 2008. 416 с.
11. Арапов О. Л., Зуев Ю. С. К вопросу о противоракетном маневре // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2015. № 1. С. 34–46. URL: <http://vestnikprib.ru/articles/669/669.pdf>.
12. Гончаренко В. И., Горченко Л. Д. Выбор конфигурации манёвра планирующего аэробаллистического летательного аппарата // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. № 1 (174). С. 6–18. URL: <http://izv-tn.tti.sfedu.ru/?p=21993>.
13. Меркулов В. И., Миляков Д. А. Исследование алгоритма самонаведения летательных аппаратов на гиперзвуковые объекты // Труды МАИ : электрон. журн. 2011. Вып. № 45. С. 41–57. URL: www.mai.ru/science/trudy/.
14. Кириллов С. Н., Токарь А. Д. Эффективный алгоритм наведения объекта управления на маневрирующие воздушные цели // Вестник РГРТУ (Рязань). 2008. № 2 (24). С. 33–36. URL: <http://www.rsgu.ru/ru/vuz/nauka/vestnik-magazine/menu-1176/1255-item-1255>.
15. Илюхин И. М., Серякова Ю. В. Исследование погрешности наведения управляемого снаряда на перемещающуюся цель // Молодежный научно-технический вестник : электрон. журн. 2012. № 7. URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/458323.html>.
16. Воробьев К. А., Сенчурин Я. Ю. Моделирование траектории движения маневрирующей цели в среде MATLAB // Математическая морфология : электрон. мат. и мед.-биологический журн. 2013. Т. 12. Вып. 1. URL: <http://www.smolensk.ru/user/sgma/MMORPH/N-37-html/vorobyov/vorobyov.doc>.
17. Ермолин О. В., Козарь В. Б. Системный подход к оценке эффективности применения боевого снаряжения управляемых средств поражения // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2016. № 4. С. 97–104.

REFERENCES

1. Iampolsky L. S. (2000), “Obobshchennyy analiz primeneniya sredstv vozdushnogo napadeniya OVS NATO pri provedenii voyennoy operatsii v Yugoslavii “Reshitelnaya sila” i v drugikh lokalnykh voynakh v 90-kh godakh: Uchebnoye posobiye”, [Generalized analysis of application of facilities of air attack of combined joint NATO forces during realization of military operation in Yugoslavia “Decisive force” and in other local wars in 90th: the Train aid], Ul’yanovsk: UIGTU, 2000, 80 p.
2. Manatschinsky A. (2014), “Operatsiya NATO “Soyuznaya sila” protiv Yugoslavyy v 1999 g” [Operation NATO “Allied force” against Yugoslavia

- in 1999], <http://rubicon.org.ua/index.php/j-stuff/item/148-operatsiya-nato-soyuznaya-sila-protiv-yugoslavii-v-1999-g>.
3. Sivkov K. (2017), Raketnyiy mech USA, [Missile sword of the USA], URL: <https://topwar.ru/31477-raketnyy-mech-ssha-effektivnost-krylatyh-raket-velika-no-etomu-oruzhiyu-vsegda-naydetsya-protivodeystvie.html>.
 4. Medved A. N. (2012), “Krylatyye rakety i kak s nimi borotsya” [Cruise missiles and how to fight with them], Engines (scientific and technical magazine), № 4 (82), pp. 16-19.
 5. Alesin A. (2017). Oborona protiv krylatykh raket: est li priyemy protiv «Topora» [Defense against cruise missiles: are there methods against an “Axe”]. URL: <https://www.belrynok.by/2017/04/19/oborona-protiv-krylatyh-raket-est-li-priemy-protiv-topora/>.
 6. Yurov D. (2016), “Iskander” protiv “Patriot”, [“Iskander” against “Patriot”]. URL: <https://tvzvezda.ru/news/forces/content/201610250852-ogbc.htm>.
 7. Danilochev D.V., Maltsev V.V., Zakharov E.N. (2017) “Sposob manevrirovaniya vysokoskorostnogo bespilotnogo letatel'nogo apparata v zone vozmozhnogo deystviya sredstv protivoraketnoy i protivovozdushnoy oborony” [A method for manoeuvring a high-speed pilotless aircraft in the area of possible action of facilities of missile and anti-aircraft defense], Patent RU 2635022 , F41H13/00 // <http://www.findpatent.ru/patent/263/2634659.html>.
 8. Shashkov G. G. (2017), “Rossiya ispytala bortovyye komplekсы oborony krylatykh raket” [Russia tested the on-board complexes for defending cruise missiles]. http://www.vladtime.ru/armiya_rossii/580575.
 9. Lenshin A. B., Zibrov G. V., Vinogradov A. D. Bortovyye komplekсы oboronyi vozdushnykh sudov: ucheb. Posobie [On-board complexes for defense of aircraft: studies. manual] /Pod red. A. B. Lenshina. – Izdatel'sko-poligraficheskiy tsentr «Nauchnaya kniga», 2013. – 309 p.
 10. Perunov Yu. M., Fomichev K. I., Yudin L. M. Radioelektronnoe podavlenie informatsionnykh kanalov sistem upravleniya oruzhiem [Radio electronic suppression of information channels of weapon control system] / Pod red. Yu. M. Perunova. Izd. 2-e, ispr i dopoln. M.: «Radiotekhnika», 2008. 416 p.
 11. Arapov O.L., Zuev Yu.S. (2015), «K voprosu o protivoraketnom manevre» [To the question of antimissile maneuver], Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Seriya: Priborostroenie [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering, Vol. 1, No. 1 (100), pp. 34-46.
 12. Goncharenko V.I., Gorchenko L.D. (2016), «Vybor konfiguratsii manevra planiruyushchego aeroballisticheskogo letatel'nogo apparata», [Configuring maneuver of gliding aeroballistic aircraft], // Bulletin of SFD. Technical sciences, № 1 (174), pp. 6-18.
 13. Merkulov V.I., Miliakov D.A. (2011), «Issledovaniye algoritma samonavedeniya letatelnykh apparatov na giperzvukovyye obyekty», [Research of algorithm of homing of aircrafts on hypersound objects], Electronic magazine «Works by MAI», Volume 45, pp. 41-57.
 14. Kirillov S.N., Tokar A.D. (2008), «Effektivnyy algoritm navedeniya obyektu upravleniya na manevriruyushchiye vozdushnyye tseli», [Effective algorithm of aiming of management object on manoeuvrable air aims], Newsletter of the Ryazan state radio engineering university, № 2 (24), pp. 33-36.
 15. Iluchin I.M., Seryakova Yu.V. (2012), «Issledovaniye pogreshnosti navedeniya upravlyayemogo snaryada na peremeshchayushchuyusya tsel», [Research of error of aiming of the guided shell on the moving purpose] / The Electronic magazine the «Youth scientific and technical announcer», № 7. Published by FGBOU VPO the «Moscow N.E. Bauman state technical university».
 16. Vorobyov K. A., Senchurin Ya.Yu. (2013), «Modelirovaniye trayektorii dvizheniya manevriruyushchey tseli v srede MATLAB» [Design of trajectory of motion manoeuvring purpose in environment MATLAB], Mathematical morphology. Electronic mathematical, medical and biological magazine.
 17. Ermolin O. V., Kozar V. B. Sistemnyiy podhod k otsenke effektivnosti primeneniya boevogo snaryazheniya upravlyaemykh sredstv porazheniya [System approach to assessing the effectiveness of applying combat equipment of guided missiles]/ Vestnik Kontserna VKO «Almaz – Antey», 2016, # 4, s. 97-104.

Рецензент А.Б. Леонтьев, д-р техн. наук, проф.
(Харьковский национальный университет
Воздушных Сил им. И.Кожедуба)