

Методика обоснования направления захода на цель на основе теории рисков при действии по наземным объектам авиационными комплексами

Ананьев А.В.^{1,2*}, Рыбалко А.Г.^{1}, Лазорак А.В.^{1***}**

¹*ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
ул. Старых Большевиков, 54 А, Воронеж, 394064, Россия*

²*НПП «Полет», пл. Комсомольская, 1, Нижний Новгород, 603950, Россия*

**e-mail: sasha303_75@mail.ru*

***e-mail: rybalkovvs@yandex.ru*

****e-mail: lazorak@mail.ru*

Статья поступила 20.12.2019

Аннотация

Появление нового комплекса вооружения – ударного беспилотного летательного аппарата малого класса требует разработки нового научно-методического аппарата по оценке эффективности его применения при поражении наземных объектов. В работе представлена методика обоснования направления захода на цель летательными аппаратами такого класса, которая является дальнейшим развитием методического аппарата по рациональному распределению огневого воздействия свободнопадающих неуправляемых контейнеров ударных беспилотных летательных аппаратов малого класса, основанного на теории рисков. Использование «формулы риска» в теории боевой эффективности авиационных средств поражения позволяет определить несколько рациональных точек прицеливания при действии по наземному объекту с несимметричным расположением, важных по своему функционалу, уязвимых элементов. Выявление

локальных экстремумов интегральной функции риска способствует обоснованию направления захода на цель для нанесения наземному объекту максимального ущерба по критерию времени восстановления. Таким образом, применение данной методики обеспечивает получение достоверных данных при планировании применения ударных беспилотных авиационных комплексов.

Ключевые слова: ударный беспилотный летательный аппарат малого класса, направление захода на цель, формула и коэффициент риска нанесения ущерба, наземные цели с несимметричным размещением уязвимых зон.

Введение

Анализ военных конфликтов последних лет показал, что использование малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для поражения наземных объектов может быть в достаточной мере эффективно. На примере атаки террористами в Сирийской Арабской Республике российской авиабазы Хмеймим с использованием малоразмерных ударных БПЛА, представители военного ведомства РФ отмечают появление реальной угрозы, связанной с применением таких БПЛА в террористических целях [0]. В ряде научных статей [0-0] рассматривается опыт боевого применения БПЛА за рубежом, а также приводится оценка их боевых возможностей. В настоящее время в России производятся БПЛА малого класса (МК) [0], которые теоретически могут быть использованы в совместных действиях с пилотируемой авиацией [0] в качестве ударных средств при поражении

легкоуязвимых наземных объектов. При этом в ходе проведенных экспериментов по оценке возможности применения БпЛА МК на дальности действия пилотируемой авиации, осуществлялась грубая оценка их точностных характеристик при сбросе габаритно-массовых макетов (ГММ) новых средств поражения (СП) БпЛА МК – свободнопадающих неуправляемых контейнеров (СНК) [0]. Полученные значения параметров рассеивания ГММ СНК позволили сделать вывод о возможности сброса СНК с промахом в пределах 6-8 м. В последующих испытаниях [0, 0] посвященных определению законов рассеивания, технологическая возможность высокоточного применения СНК БпЛА МК была достоверно подтверждена.

Знание законов рассеивания СНК позволяет обоснованно планировать применение БпЛА МК ударного назначения, или иначе – определять требуемые наряды средств для поражения объектов с заданной вероятностью. Максимизировать эффективность поражения наземной цели СНК, можно за счет выбора положения точки прицеливания (ТПр). Решение задачи выбора положения ТПр при действии по наземным объектам, представленной в трудах [0-0], основывается на знании местоположения уязвимого места цели. При этом для расчета эффективности поражения наземного объекта используется вероятностный подход, а именно знание закона поражения цели (координатный, показательный, ступенчатый) и вероятности попадания в уязвимое место цели СП ударного действия, например, кумулятивным боеприпасом, или вероятности накрытия площади наземного объекта приведенной зоной поражения СП дистанционного действия – осколочно-фугасным боеприпасом.

Такой же подход используется при оценке эффективности применения высокоточного СП, который раскрыт в работе [0]. При этом прицеливание выполняется либо в точку геометрического центра наземного объекта большого размера, либо непосредственно по каждой компактной наземной цели. Стоит отметить, что вышеуказанные методики выбора положения ТПр и оценки эффективности поражения наземных объектов справедливы для авиационных средств поражения (АСП) большой мощности и крупного калибра (более 50 кг).

Несколько иной подход в оценке эффективности применения ударных БпЛА МК для поражения наземных объектов и рационального выбора положения ТПр, предложен в работе [0]. В данном случае оценка эффективности поражения малоразмерных наземных объектов с помощью СНК осуществлена на основе теории рисков [0, 0, 0]. Предложенная методика [0] позволяет оценивать эффективность поражения в зависимости от величины смещения эллипса рассеивания СНК вдоль центральной оси самолета. При этом учитываются особенности СНК БпЛА МК – малое могущество и калибр СП, которые снаряжаются в СНК, а также вариант их сброса с БпЛА МК – как СП крупного калибра, а не как суббоеприпас, в составе одного контейнера [0, 0]. Авторы характеризуют степень уязвимости элементов цели относительными временными затратами на их восстановление и представляют в формуле риска в виде «коэффициента масштаба».

Однако, используемое в работе [0] смещение эллипса рассеивания только лишь вдоль центральной оси самолета оправдано для наземных целей, имеющих симметричное по значимости (своему функционалу) расположение уязвимых зон

относительно центральной оси, одинаковых по вероятности поражения и масштабу ущерба. Очевидно, что существуют авиационные комплексы (АК) (и другие наземные объекты) с отсутствием таковой симметрии. Как вариант, несимметричность поражаемых зон по значимости может быть обусловлена подвеской оборудования различного целевого назначения определяющей ключевой функционал всего АК [0]. Например, на одной консоли крыла АК размещается разведывательная радиолокационная станция с синтезированием апертуры или станция радиоэлектронной борьбы. Следовательно, при утрате (поражении) данных элементов, АК не способен выполнить свои боевые задачи (разведки целей, прикрытия общих боевых порядков) при обеспечении действий ударных групп тактического назначения. Тем самым повышается ущерб, наносимый противоборствующей стороной основным силам авиационной группировки, лишенной обеспечивающих действий.

Это объясняет актуальность и значимость поражения АК, в состав которых входят несимметрично расположенные уязвимые зоны, неравнозначные по вероятности поражения и масштабу наносимого ущерба (например, времени восстановления, иницирующего действия, финансовых и трудозатрат на восстановление и др.). Поэтому при одновременном попадании под вероятностное воздействие поражающих элементов СНК нескольких уязвимых зон, повысить эффективность поражения АК можно за счет распределения поражающего действия с учетом несимметричного расположения таких зон. Как показывает практика бомбометания, на характеристики эллипса рассеивания неуправляемых АСП

оказывает влияние высота сброса. Так, при бомбометании с больших высот рассеивание боеприпасов имеет круговой вид. Однако, с уменьшением высоты сброса АСП, например, при бомбометании с малых высот, наибольшее среднеквадратическое отклонение (СКО) средств поражения наблюдается по дальности, то есть рассеивание АСП принимает эллиптический вид. Следовательно, максимизировать ущерб АК на земле при использовании СНК БПЛА МК можно за счет выбора направления захода на цель.

Многочисленные работы [0-0], рассматривающие боевое маневрирование АК в районе объекта удара свидетельствуют о том, что выбор направления захода на цель является многокритериальной задачей, так как на него оказывает влияние тактический фон и климатогеографические особенности района объекта авиационного удара [0], характеристики прицельно-навигационного комплекса ударного АК (возможности датчиков по определению фазовых координат всех элементов «АСП-цель-среда» [0, 0]), состав и структура входящего в него оборудования [0, 0]. Кроме того, выполнение боевого маневрирования в районе объекта удара существенно зависит от вида наземной цели (малоразмерная, одиночная, групповая, площадная, протяженная, длинная узкая), типа и калибра АСП [0], а также от способа выполнения атаки [0]. Например, при действии по площадным объектам направление захода выбирается вдоль наиболее протяженной стороны цели, так как рассеивание АСП по дальности преобладает над рассеиванием по направлению. В таких случаях наиболее частым способом выполнения атаки является бомбометание с горизонтального полета с серийным или

залповым применением средств поражения, в состав которых могут входить суббоеприпасы малого калибра размещенные в разовых бомбовых контейнерах [0]. В случае серийного применения неуправляемых АСП крупного калибра по длинным узким целям выбирается некоторый рациональный угол захода, обеспечивающий попадание в цель хотя бы нескольких боеприпасов [0].

Также известен пример того, что при действии пилотируемых АК по одиночным малоразмерным наземным объектам осколочно-фугасными АСП большой мощности и имеющими характеристики рассеивания не сопоставимые с размерами цели, изменение направления захода на эффективность огневого воздействия не влияет, при этом прицеливание осуществляется по центру цели, а способ атаки выбирается с горизонтального полета. Однако, в некоторых случаях, для повышения точности бомбометания, сброс АСП выполняется с пикирования [0].

С учетом изложенного и, принимая во внимание маневренные характеристики БпЛА МК, малое могущество и параметры рассеивания СНК, можно сделать заключение о том, что по отношению к БпЛА МК цель – «самолет на открытой стоянке» – является не малоразмерным одиночным наземным объектом, как в случае с пилотируемыми АК, а сложной в плане площадной целью с несимметричным расположением неравнозначных по вероятности поражения и масштабу наносимого ущерба уязвимых зон. Такие особенности применения ударных БпЛА МК позволяют утверждать, что, несмотря на существенный научный задел в области боевого маневрирования в районе объекта удара, известные

подходы не содержат и не используют анализ совокупности несимметричных по значимости уязвимых зон объекта удара при выборе направления захода на цель, а значит не являются полноценными.

Целью статьи является разработка методики обоснования эффективного направления захода на цель на основе теории рисков при действии по наземным объектам авиационными комплексами с учетом анализа совокупности несимметричных по значимости уязвимых зон цели.

Разработка методики

В основу разработанной методики положены расчетные соотношения, полученные в [0] и использованы следующие исходные данные:

- в качестве объекта поражения рассматривалась типовая наземная цель – самолет на открытой стоянке;
- способ атаки был выбран с горизонтального полета;
- в расчетах использовались СНК, снаряженные средствами поражения дистанционного действия (осколочные СП – «тип 1») и ударного действия (кумулятивные СП – «тип 2» и СП типа «ударное ядро» – «тип 3»);
- режим сброса СНК с БпЛА МК использовался как вариант одиночного бомбометания по одному боеприпасу в каждом заходе на цель;
- серийный сброс СНК на данном этапе не исследовался, что принято в ограничения и является дальнейшей перспективой¹;

¹ Следует отметить, что при серийном сбросе СНК с БпЛА МК так же представляет интерес анализ повышения эффективности поражения наземной цели с использованием разработанной методики

- частные параметры эллипса рассеивания СНК, полученные в ходе проведения натуральных экспериментов по сбросу СНК с БпЛА МК [0, с. 93], которые показаны в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики рассеивания СНК БпЛА МК

Среднеквадратическое отклонение СНК по дальности, м	5.02
Среднеквадратическое отклонение СНК по направлению, м	1.94

Методика обоснования эффективного направления захода на цель, на основе теории рисков, при действии по наземным объектам авиационными комплексами включает в себя последовательное выполнение следующих операций:

1. Декомпозиция наземного объекта на N i -х прямоугольных уязвимых зон, площади которых вписываются в общую площадь цели.

Согласно компоновочной схемы гипотетического АК [0], каждая i -я уязвимая зона включает в себя агрегаты и системы, обобщенные по своему функциональному назначению и геометрическому (совместному) расположению. Вариант такой декомпозиции представлен на рис. 1, где обозначено: 1 – носовой отсек (НО), 2 – кабина экипажа (КЭ), 3 – закабинный отсек (ЗО), 4 – центроплан (ЦП), 5 – левая консоль крыла (ЛК), 6 – правая консоль крыла (ПК), 7 – двигательный отсек (ДО).

На схеме, несимметричное по значимости расположение уязвимых зон, поясняется расположением разного оборудования на левой и правой консолях крыла АК. Так, на левой консоли размещена управляемая авиационная ракета класса «воздух-воздух», применяемая для прикрытия АК от атак истребителей

противоборствующей стороны. В свою очередь, на правой консоли крыла расположена станция радиоэлектронной борьбы, что и определяет основной функционал АК, как самолета постановщика помех, используемого для прикрытия основных боевых порядков ударных групп тактического назначения.

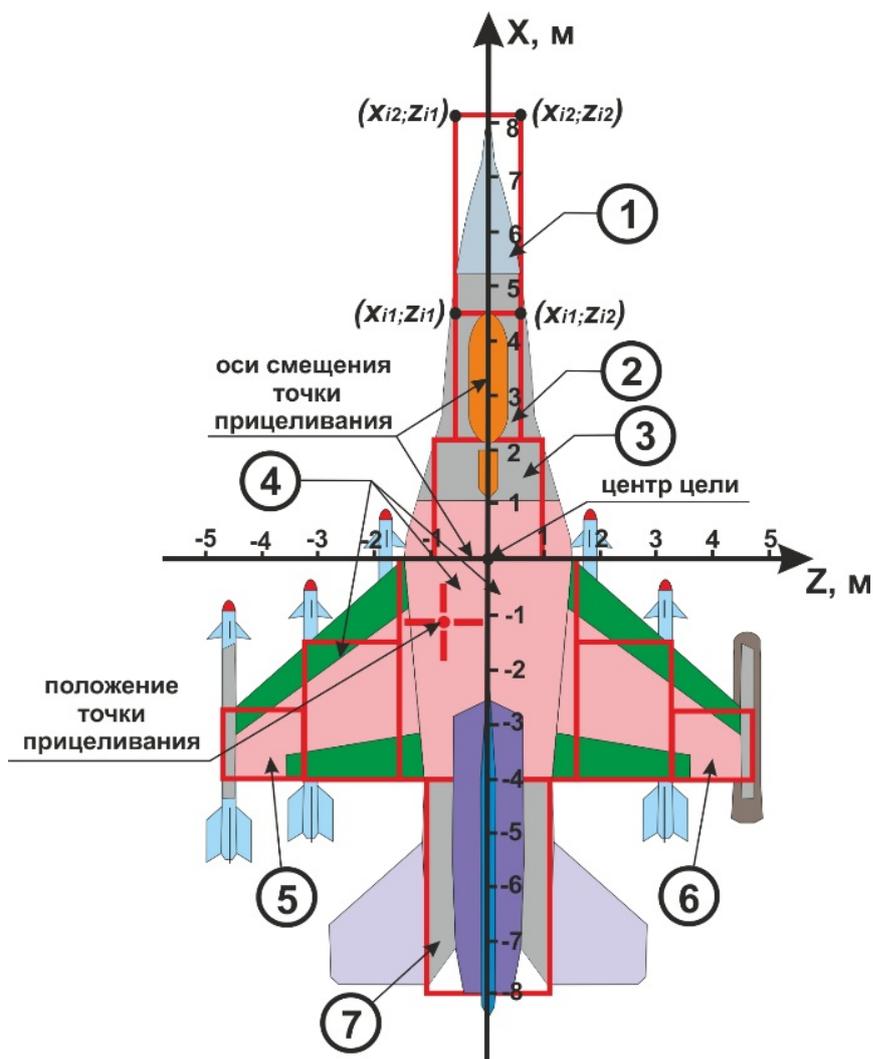


Рис. 1. Схема декомпозиции цели на уязвимые зоны (вариант)

2. Определение координат сторон каждой i -й уязвимой зоны АК – x_{i2} , x_{i1} ,

z_{i2} , z_{i1} (показан на рис. 1 на примере уязвимой зоны «*носовой отсек*») в декартовой системе координат.

3. Определение времени восстановления АК в качестве детерминированной сущности (меры) ущерба при поражении уязвимых зон АК в виде временных затрат, необходимых для восстановления (замены) поврежденных элементов уязвимой зоны, получившей ущерб.

Развитие такого подхода [0] на случай несимметричной подвески оправдан тем, что специализированные средства изготавливаются в существенно меньших количествах по отношению к АК, что повлечет за собой большие сроки восстановления, и кроме того, их отладка и замена требуют специалистов узкого профиля. В табл. 2 приведены результаты определения группой экспертов численного значения трудозатрат при использовании СП «тип 1».

Таблица 2

Трудозатраты на восстановление уязвимых зон наземной цели

Показатель	Уязвимые зоны авиационного комплекса						
	НО	КЭ	ЗО	ЦП	ЛК	ПК	ДО
Необходимые трудозатраты, чел/часы	12	16	24	42	8	28	36

4. Принятие в качестве показателя эффективности выбранного направления захода на цель функционала риска ($R(x,z)$), являющимся вероятностным ущербом.

Обоснованность такого выбора следует из того, что при оценке эффективности поражения одиночной малоразмерной цели ударными СП малого калибра, в частности снарядами к авиационной пушке или залпом неуправляемых

авиационных ракет, используют формулу, предложенную академиком А.Н. Колмогоровым, которая имеет вид [0]:

$$W = \sum_{m=1}^n P_{m,n} G(m), \quad (1)$$

где W – вероятность поражения наземной цели; $P_{m,n}$ – вероятность попадания в цель m снарядов при n выстрелах, которая определяется через число сочетаний из n по m и вероятности попадания в цель одним снарядом P_1 ; $G(m)$ – условный закон поражения цели (вероятность поражения цели при условии, что в нее попало m снарядов), определяемый через среднее число попаданий в уязвимые места цели.

Однако, при оценке эффективности применения СНК БпЛА МК по АК, использовать формулу (1) не представляется возможным, так как не обеспечивается высокая интенсивность воздействия по объекту удара и требуемое количество СНК в одних условиях (сброс в одном заходе).

Второй подход к оценке эффективности поражения малоразмерной цели ориентирован на применение средств поражения крупного калибра дистанционного действия (например, осколочно-фугасных авиационных бомб). В данном варианте вероятность поражения цели определяют по формуле [0]:

$$W = \int_{-\infty}^{+\infty} \int G(x, z) f(x, z) dx dz, \quad (2)$$

где W – вероятность поражения наземной цели; $G(x, z)$ – координатный закон поражения цели, который в виду большой мощности СП крупного калибра в

расчетах заменяют на ступенчатый и принимают равный единице при условии попадания боеприпаса в зону безусловного поражения цели; $f(x,z)$ – плотность распределения координат точек падения АСП в плоскости рассеивания (закон рассеивания АСП).

Использование выражения (2) для случая применения БпЛА МК затруднено по следующим причинам. Во-первых, зачастую для упрощения расчетов используется ступенчатый закон поражения, что не совсем корректно для боеприпасов малой мощности БпЛА МК. Во-вторых, в таком варианте не учитывается «масштаб временных затрат» на восстановление боеспособности АК. Для комплексного учета особенности боевого применения БпЛА МК авторами предложено использовать элементы теории рисков при оценке эффективности нанесения ущерба АК [0, 0]

При этом интегральный (суммарный) риск ($R(x,z)$) нанесения ущерба наземной цели, с учетом совокупности несимметричных по значимости ее уязвимых зон и положения точки прицеливания по дальности и по направлению (x, z) , может быть оценен с помощью двумерной функции риска определяемой выражением:

$$R(x, z) = \sum_{i=1}^N P_i(x, z) G_i^k M_i, \quad (3)$$

где $P_i(x, z)$ – вероятность попадания СНК в i -ю уязвимую зону АК, в зависимости от положения ТПр по дальности и по направлению (см. рис. 1) (прицеливание выполняется по координатам x, z); N – количество уязвимых зон АК; G_i^k – вероятность (возможность) выведения их строя (уязвимость) агрегатов i -й зоны

при попадании в нее СНК k -го типа (поражающих элементов СНК); M_i – масштаб наносимого ущерба агрегатам i -й уязвимой зоны, характеризуемый временем их восстановления.

5. Представление произведения $G^k M_i$ для каждой i -й уязвимой зоны АК для СНК с разными типами СП, в виде обобщенного коэффициента (C^k_i) и его последующий расчет с использованием метода анализа иерархий (МАИ) Томаса Саати [0]. Результаты расчета обобщенного коэффициента C^k_i для 3-х различных типов СНК приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты оценок обобщенного коэффициента C^k_i для заданных уязвимых зон

СНК	Уязвимая зона авиационного комплекса						
	НО	КЭ	ЗО	ЦП	ЛК	ПК	ДО
«тип 1»	0,1	0,72	0,11	0,11	0,08	0,73	0,11
«тип 2»	0,67	0,2	0,31	0,44	0,57	0,07	0,44
«тип 3»	0,22	0,09	0,58	0,44	0,34	0,2	0,44

Использование МАИ для определения значения обобщенного коэффициента C^k_i обосновано высокой неопределенностью исходных данных об уязвимости отдельных элементов конструкции АК. При этом получить такие знания на основе аналитических расчетов на данном этапе исследований не представляется возможным, так как невозможно провести на реальных объектах поражения соответствующих полигонных испытаний. Следовательно, рассчитанный обобщенный коэффициент C^k_i нанесения ущерба, позволяет обобщить второй и

третий сомножители выражения (3), то есть учесть масштаб наносимого ущерба и закон поражения агрегатов каждой уязвимой зоны АК.

Таким образом, двумерная функция риска примет следующий вид:

$$R(x, z) = \sum_{i=1}^N P_i(x, z) C_i^k. \quad (4)$$

6. Определение вероятности попадания СНК ($P_i(x, z)$) в каждую i -ю уязвимую зону с учетом точностных характеристик БПЛА МК (эллипса рассеивания) и размеров эффективной зоны поражения СНК «тип 1» для каждого положения ТПр по дальности (x) и по направлению (z) путем преобразования известной формулы [0, с.119] в следующее выражение:

$$P_i(x, z) = \left[\Phi \left(\frac{x_{i2} - m_x - x}{\sigma_x} \right) - \Phi \left(\frac{x_{i1} - m_x - x}{\sigma_x} \right) \right] \cdot \left[\Phi \left(\frac{z_{i2} - m_z - z}{\sigma_z} \right) - \Phi \left(\frac{z_{i1} - m_z - z}{\sigma_z} \right) \right], \quad (5)$$

где Φ – функция Лапласа; x_{i1} , x_{i2} , z_{i1} , z_{i2} – координаты сторон i -ой уязвимой зоны, с учетом размеров эффективной зоны поражения СНК «тип 1»; m_x , m_z – математическое ожидание отклонения СНК по дальности и по направлению (систематическая ошибка сброса БПЛА МК); x – координата смещения положения ТПр по дальности (вдоль оси OX); z – координата смещения положения ТПр по направлению (вдоль оси OZ); σ_x , σ_z – среднеквадратические отклонения СНК по осям OX и OZ .

На рис. 2 показан график двумерного вероятностного распределения попадания СНК во все уязвимые зоны, рассчитанной в соответствии с выражением

(5), при изменении положения точки прицеливания по дальности (вдоль оси OX) в пределах ± 15 м и по направлению (вдоль оси OZ) в пределах ± 10 м.

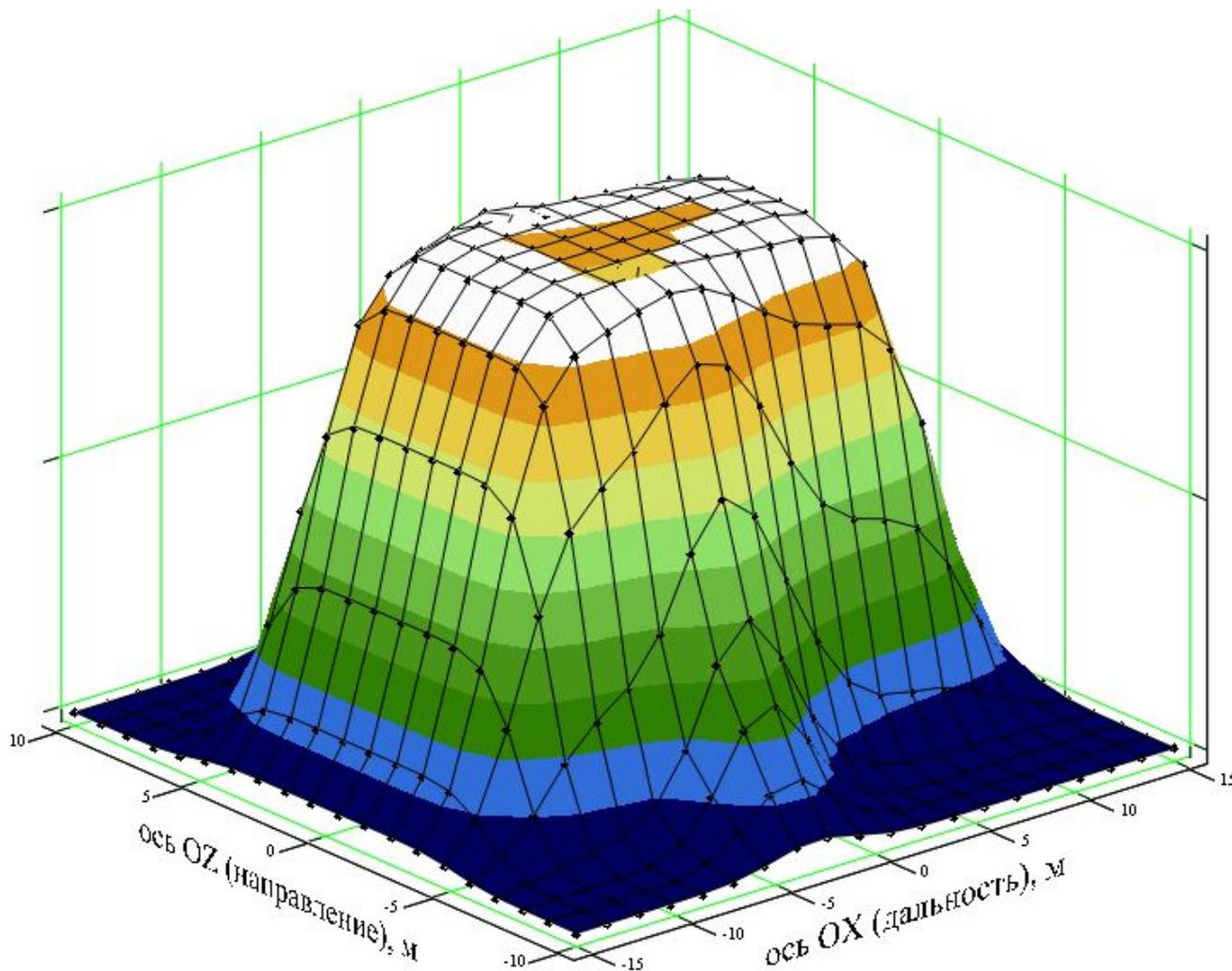


Рис. 2. График двумерного вероятностного распределения попадания СНК

6. Определение с использованием выражения (4) значения интегрального (суммарного) риска нанесения ущерба АК ($R(x,z)$) для каждого положения ТПр по дальности (x) и по направлению (z), с применением в качестве первого сомножителя вероятности попадания СНК в i -ю уязвимую зону ($P_i(x,z)$) для каждого положения ТПр по дальности (x) и по направлению (z), а в качестве второго –

значение обобщенного коэффициента C_i^k для соответствующей i -й уязвимой зоны (см. табл. 3).

Построение двумерного графика поверхности, позволяющей наглядно оценить максимумы интегрального риска нанесения ущерба АК (или отсутствие таковых) для каждого положения ТПр по дальности и по направлению. На рис. 3 приведен частный пример расчета (4), на котором отчетливо видны два локальных экстремума.

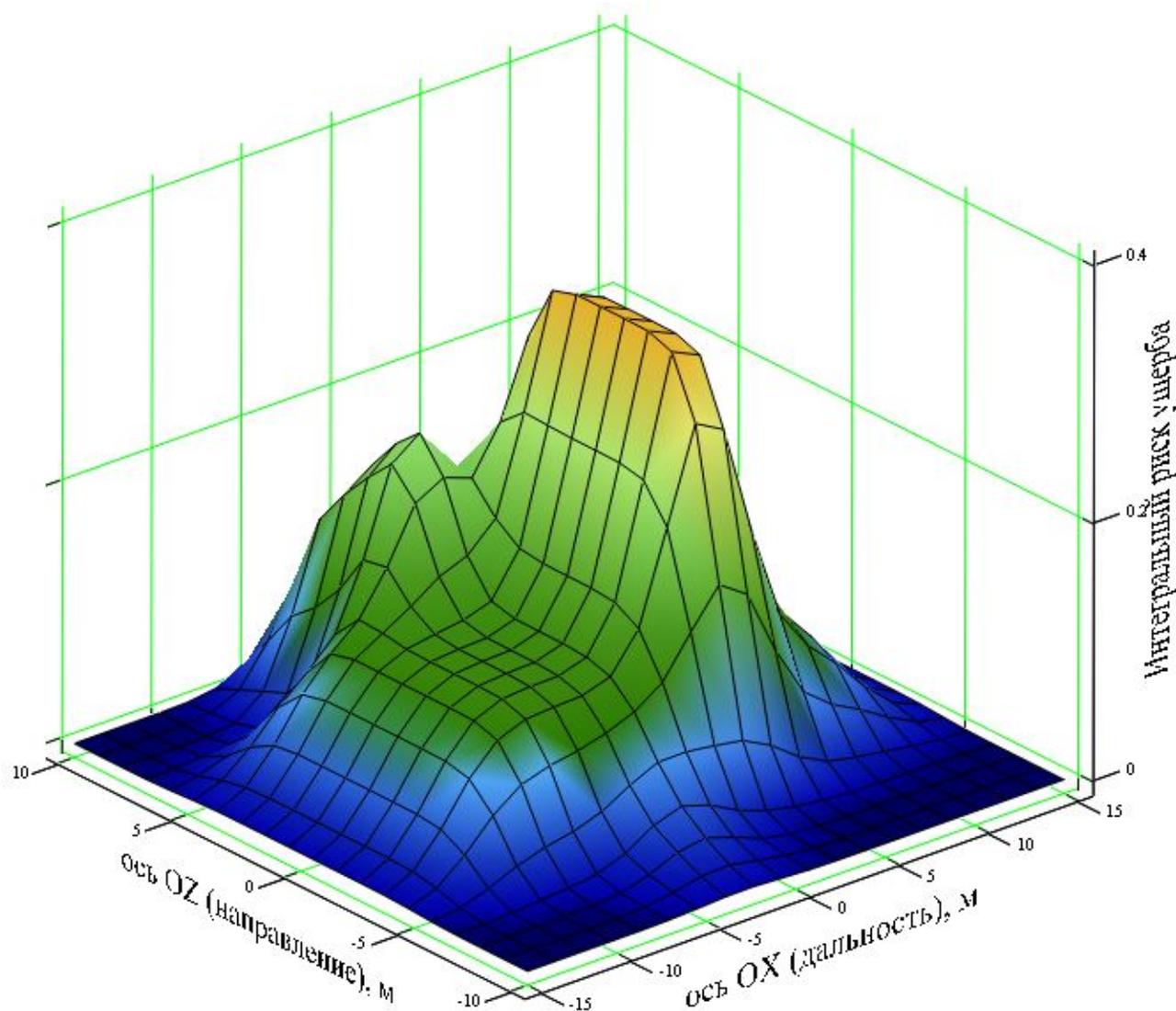


Рис. 3. Поверхность распределения интегрального риска поражения АК

7. Определение направления захода на цель с использованием поверхности распределения максимума интегрального риска поражения АК на земле.

Знание неравномерности двумерного распределения функции вероятного ущерба (риска), позволяет делать обоснованные суждения (см. рис. 3) об актуальности смещения ТПр перпендикулярно центральной оси и выборе направления захода на цель несовпадающего с центральной осью для повышения наносимого ущерба объекту поражения.

Однако, приведенный результат расчета является частным случаем. Поэтому для получения более полной картины в работе рассмотрены два вида рассеивания АСП – круговое и эллиптическое с вариантами параметров рассеивания, представленными в табл. 4.

Таблица 4

Параметры эллиптического и кругового рассеивания

	Вид рассеивания	Вариант № 1		Вариант № 2		Вариант № 3	
		СКО СНК по дальности (σ_x), м	СКО СНК по направлению (σ_z), м	СКО СНК по дальности (σ_x), м	СКО СНК по направлению (σ_z), м	СКО СНК по дальности (σ_x), м	СКО СНК по направлению (σ_z), м
1	Эллиптическое	2.5	1	5	2	7.5	3
2		2	1	4	2	6	3
3		1.5	1	3	2	4.5	3
4	Круговое	1	1	2	2	3	3

Данные результаты расчета были сведены в систему графиков поверхностей распределения интегрального риска поражения АК, которую иллюстрирует рис. 4.

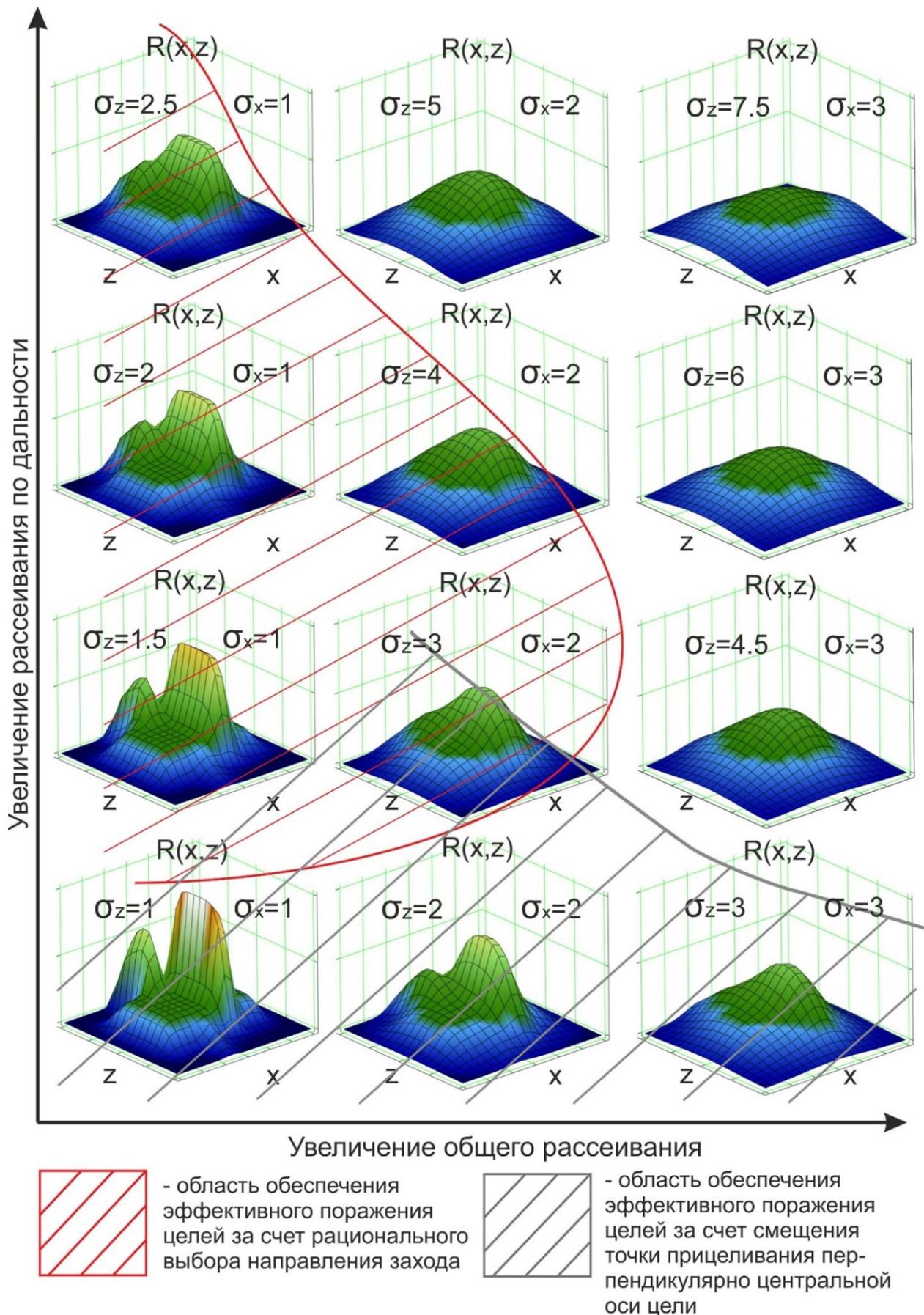


Рис. 4 Система закономерностей изменения интегрального риска от параметров рассеивания СНК

Графики (см. рис. 4) упорядочены вдоль «условных декартовых координат» следующим образом. Нижний ряд графиков соответствует круговому рассеиванию, увеличивающемуся слева-направо вдоль оси абсцисс. Вертикально, в соответствии с положительным направлением оси ординат увеличивается рассеивание по дальности. Упорядочение расчетов в таком виде соответствует физической сущности классических наработок в практике бомбометания неуправляемых АСП: дисперсия (СКО) по дальности преобладает над дисперсией по направлению.

Примечательно, что локальные экстремумы наиболее ярко выражены в начале координат, т.е. наибольшая кривизна поверхности закономерностей изменения интегрального риска наблюдается при единичных СКО. По мере увеличения СКО при круговом рассеивании (нижний ряд графиков) кривизна поверхности уменьшается и локальные экстремумы становятся менее выраженными. Это можно объяснить тем, что по мере уменьшения точности бомбометания и, следовательно, увеличения параметров СКО до значений, соизмеримых с объектом поражения, относительная значимость «масштаба» ущерба его отдельных уязвимых зон в их целой совокупности уменьшается.

Аналогично кривизна поверхностей уменьшается при увеличении рассеивания по дальности. Физическая сущность такого уменьшения также объясняется увеличением рассеивания СНК относительно объекта поражения. Однако при этом, в отличие от нижнего ряда зависимостей, рассеивание СНК носит эллиптический характер, что означает то, что изменение направление захода на цель обеспечит повышение эффективности поражения.

Этот факт может быть пояснен рис. 5а: линия захода на цель можно построить таким образом, что эллипс рассеивания будет «накрывать» два локальных экстремума двумерной зависимости (4). Условная область значений СКО, при которых обеспечивается повышение эффективности поражения за счет изменения направления захода на цель, заштрихована красными линиями.

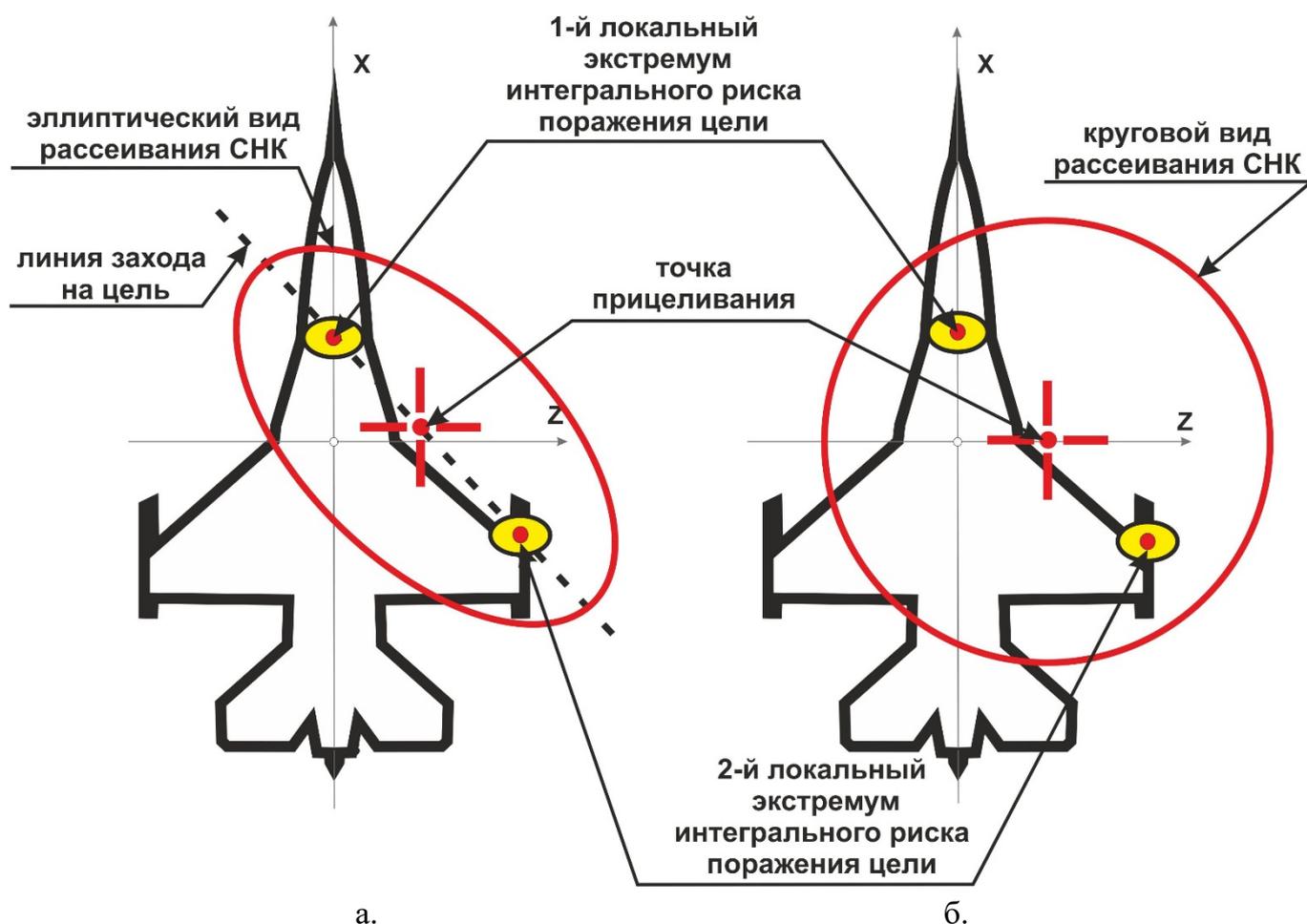


Рис. 5 Пояснение влияния вида рассеивания СНК на необходимость выбора рационального направления захода на цель при выявлении локальных экстремумов интегрального риска поражения наземной цели

Для значений СКО, когда рассеивание СНК близко к круговому, изменение направления захода на цель не приведет к увеличению временных затрат на восстановление техники, однако, если при этом кривизна поверхности риска существенна, то по-прежнему остается актуальным смещением ТПр перпендикулярно центральной оси самолета (см. рис.5б).

Выводы

Разработанная методика способствует получению качественно новых зависимостей, позволяющие делать обоснованные выводы о степени наносимого ущерба при поражении наземных, а в некоторых случаях и воздушных целей, авиационными средствами поражения малого могущества при рассмотрении целей как площадных объектов поражения. Приведенные расчеты в определенной мере упрощены, так как для получения более точных решений с использованием функционала (4) необходимо осуществлять вращение эллипса рассеивания относительно центральной оси АК. Тем, не менее, предложенный подход к определению направления захода на цель является рациональным при боевом маневрировании БпЛА МК в районе объекта удара [0] и по своей широте открывает целое направление перспективных исследований.

Библиографический список

1. Начальник Управления строительства и развития системы применения БпЛА Генштаба ВС РФ генерал-майор Александр Новиков провел брифинг для

представителей российских и зарубежных СМИ // MIL.RU: Министерство Обороны Российской Федерации (официальный сайт Минобороны России). 11 янв. 2018.

URL: https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12157872%40egNews

2. Зубов В.Н. Современные террористические и асимметричные угрозы // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 5-6 (119-120). С. 47 – 57.

3. Фрезе В.Р. Опыт применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами в вооруженных конфликтах // Гуманитарные проблемы военного дела. 2018. № 1 (14). С. 106 – 112.

4. Новак К.В., Горохова Е.А., Тофоров М.С. Оценка боевых возможностей беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения, применяемых в террористических целях // II-я Военно-научная конференция «Роботизация Вооруженных Сил Российской Федерации: сборник трудов. – М.: ГНИИЦРТ, 2017. С. 187 – 195.

5. Беспилотный летательный аппарат «Феникс» // Военно-технический сборник «Бастион». 30 мая 2019. URL: <http://bastion-karpenko.ru/phoenix-bla>

6. 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.

7. Ананьев, А.В., Филатов С.В., Рыбалко А.Г. Статистическая оценка ударных возможностей беспилотных летательных аппаратов малой дальности при решении задач пилотируемой авиации // Известия Тульского государственного университета.

Технические науки. 2018. № 12. С. 455 – 460.

8. Рыбалко А.Г., Ананьев А.В., Лазорак А.В., Клевцов Р.П. Программное обеспечение определения потребных нарядов ударных беспилотных летательных аппаратов малого класса для поражения наземных целей // Вестник ВКО «Алмаз-Антей». 2019. № 3(30). С. 83 – 98.

9. Ананьев А.В., Рыбалко А.Г., Гончаренко В.И., Клевцов Р.П. Оперативная оценка ошибок попадания в цель свободнопадающих неуправляемых контейнеров беспилотных летательных аппаратов малого класса // Труды МАИ. 2019. № 107.

URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=107869>

10. Вентцель Е.С. Введение в исследование операций. - М.: Советское радио, 1964. - 391 с.

11. Кириллов В.И., Грошев В.Н. Теория боевой эффективности и исследования операций. - Монино: Военно-воздушная академия, 1969. - 278 с.

12. Мильграмм Ю.Г., Попов И.С. Боевая эффективность авиационной техники и исследование операций. - М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1970. - 500 с.

13. Боевые авиационные комплексы и их эффективность / И. В. Арбузов [и др.]: под ред. О.В. Болховитинова. - М. : ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 2008. - 225 с.

14. Махнин В.Л. Методики количественной оценки возможности и эффективности боевого применения авиационных средств поражения по наземным и морским объектам. - Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. - 130 с.

15. Буравлев А.И., Брезгин В.С. Методы оценки эффективности применения высокоточного оружия. - М.: ИД Академии Жуковского, 2018. - 232 с.

16. Ананьев А.В., Рыбалко А.Г., Гончаренко В.И. Рациональное распределение огневого воздействия свободнопадающих неуправляемых контейнеров беспилотных летательных аппаратов малого класса на основе теории рисков // Известия института инженерной физики. 2019. № 3 (53). С. 66 – 72.
17. Ананьев А.В., Кащенко Г.А. Система ситуационного управления рисками в конфликте комплексов беспилотных летательных аппаратов и противовоздушной обороны // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 9-1. С. 9 – 12.
18. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков. - М.: ИЦ «Академия», 2008. - 368 с.
19. Андреев Д.В. Анализ и контроль уровней технических рисков на различных этапах жизненного цикла вертолётов // Труды МАИ. 2018. № 101. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=96651>
20. Селиванов В.В., Бабкин А.В., Грязнов Е.Ф. и др. Средства поражения и боеприпасы. - М.: МГТУ им. Н Э. Баумана, 2008. - 984 с.
21. Миропольский Ф.П., Пырьев Е.В. и др. Авиационные боеприпасы. - М. : ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», 2010. - 407 с.
22. Винчестер Джим. Реактивные истребители / пер. с англ. - М.: Астрель, 2013. - 320 с.
23. Жирохов М.А. Опасное небо Афганистана. Опыт боевого применения советской авиации в локальной войне. 1979–1989. - М.: Изд-во Центрполиграф, 2015. - 319 с.
24. Краснов А.М. Основы анализа процесса прицеливания в авиационных системах управления вооружением // Труды МАИ. 2012. № 61. URL:

<http://trudymai.ru/published.php?ID=35640>

25. Краснов А.М. Управление поражением цели в комплексе авиационного вооружения со случайным изменением структуры // Труды МАИ. 2011. № 49. URL:

<http://trudymai.ru/published.php?ID=27946>

26. Востриков О.В. Обоснование облика навигационной системы ударного беспилотного летательного аппарата // Труды МАИ. 2011. № 48. URL:

<http://trudymai.ru/published.php?ID=26757>

27. Гусейнов А.Б., Маховых А.В. Структурно-параметрический синтез рационального бортового распознающего устройства в составе беспилотного летательного аппарата // Труды МАИ. 2016. № 90. URL:

<http://trudymai.ru/published.php?ID=74833>

28. Бабич В.К. Авиация в локальных войнах.- М.: Воениздат, 1988. - 207 с.

29. Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети / Пер. с англ. – М.: Ленанд, 2015. - 314 с.

30. Рыбалко А.Г., Ананьев А.В. Модель действий разведывательно-ударных групп беспилотных летательных аппаратов малого класса самолетного типа при поражении тактических истребителей противовоздушной обороны на открытых стоянках аэродромных участков дорог // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2019. № 11. С. 58 – 68. URL: http://академия-ввс.рф/images/docs/vks/11-2019/vks_11_2019.pdf

A technique for target run-in direction justification based on theory of risk when striking ground-based objects by aircraft complexes

Ananev A.V.^{1,2*}, Rybalko A.G.^{1}, Lazorak A.V.^{1***}**

*¹Air force academy named after professor N.E. Zhukovskii and Yu.A. Gagarin, 54a,
Starykh bol'shevikov, Voronezh, 394064, Russia*

²PC SPE «Polet», 1, Komsomolskaya pl., Nizhny Novgorod, 603950, Russia

**e-mail: sasha303_75@mail.ru*

***e-mail: rybalkovvs@yandex.ru*

****e-mail: lazorak@mail.ru*

Abstract

This technique allows performing application planning of:

- The new military-purpose complexes, namely, small-class unmanned aerial vehicles (UAV SC),
- New weapons, such as free-falling unguided containers (FFUC), charged with the small caliber and capacity ammunition for damage inflicting to easily vulnerable ground objects.

The FFUC application specificity is its discharging from the carrier as a large-caliber ammunition, which requires special attention while the targeting point selection. The presence, in its turn, of asymmetrically located and different by their importance elements as parts of the ground target contributes to the several targeting points' selection and, hence, determining rational direction of the approach.

Thus, for example, when employing large-caliber weapons against long narrow targets, it is necessary to select a certain rational angle of approach. At the same time, if the small-sized ground based objects are being attacked with the weapons, which scattering

characteristics do not commensurate with the target size, the approach direction selection makes no difference, and targeting is being performed to the center of a target. The FFUC specifics and scattering parameters allow recognize “an aircraft on the open flying line” as a stretched area-type target with asymmetric location of the unequal by the damage probability and damage-inflicting scale vulnerable areas, rather than a small-sized single ground object.

Thus, the newly revealed property of the object of striking should be accounted for while rational selection of the target approach direction by the UAV CS and target striking by the FFUC.

The gist of the developed technique consists in the following:

- The ground target decomposition on n vulnerable zones, when the areas of these zones fit into the total area of the object;
- Criterion selecting (recovery time of the damaged units of vulnerable zones), and indicators defining (labor costs required to replace units of vulnerable zones) of damage inflicting risk for a ground target;
- Risk weight factors determining for each vulnerable area by the expert assessment method (Thomas Saati hierarchy analysis method);
- Determining probability of vulnerable zones hitting with the FFUC, with account for the targeting point disposition in range and direction, and the UAV SC accuracy characteristics;
- Employing the analytical expression of integral risk (the first multiplier is probability of the FFUC hitting the vulnerable zone, and the second one is the risk weight

factor for each zone) for risk value determination when targeting point shifted by one step in range and direction for each iteration;

- Creating three-dimensional dependence (surface) of the integral damage risk on targeting point position on range and direction;

- Selecting rational direction of target approach as the result of revealing several local extremes of the integral risk function.

Thus, the target approach at the angle to the central axis of the ground-based target justified by the proposed technique ensures 20% increase in the inflicted damage compared to the target approach along the central axis only.

Keywords: small-class striking unmanned aerial vehicle, target run-in direction, damage inflicting risk formula and coefficient, ground targets with asymmetric location of vulnerable areas.

References

1. *Nachal'nik Upravleniya stroitel'stva i razvitiya sistemy primeneniya BpLA Genshtaba VS RF general-maior Aleksandr Novikov provel brifing dlya predstavitelei rossiiskikh i zarubezhnykh SMI, Ministerstvo Oborony Rossiiskoi Federatsii, 2018, available at: https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12157872%40egNews*
2. Zubov V.N. *Voprosy oboronnoi tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodeistviya terrorizmu*, 2018, no. 5-6 (119-120), pp. 47 – 57.
3. Freze V.R. *Gumanitarnye problemy voennogo dela*, 2018, no. 1 (14), pp. 106 – 112.

4. Novak K.V., Gorokhova E.A., Toforov M.S. *II-ya Voенno-nauchnaya konferentsiya «Robotizatsiya Vooruzhennykh Sil Rossiiskoi Federatsii: sbornik tudov*, Moscow, GNIITsRT, 2017, pp. 187 – 195.
5. *Bespilotnyi letatel'nyi apparat «Feniks»*, 2019, available at: <http://bastion-karpenko.ru/phoenix-bla>
6. Anan'ev A.V., Filatov S.V., Rybalko A.G. *Voennaya mysl'*, 2019, no. 4, pp. 26 – 31.
7. Anan'ev, A.V., Filatov S.V., Rybalko A.G. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2018, no. 12, pp. 455 – 460.
8. Rybalko A.G., Anan'ev A.V., Lazorak A.V., Klevtsov R.P. *Vestnik VKO “Almaz-Antei”*, 2019, no. 3(30), pp. 83 – 98.
9. Anan'ev A.V., Rybalko A.G., Goncharenko V.I., Klevtsov R.P. *Trudy MAI*, 2019, no. 107, available at: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=107869>
10. Venttsel' E.S. *Vvedenie v issledovanie operatsii* (Introduction to the Operations Research), Moscow, Sovetskoe radio, 1964, 391 p.
11. Kirillov V.I., Groshev V.N. *Teoriya boevoi effektivnosti i issledovaniya operatsii* (Combat effectiveness theory and operations research), Monino, Voенno-vozdushnaya akademiya, 1969, 278 p.
12. Mil'gramm Yu.G., Popov I.S. *Boevaya effektivnost' aviatsionnoi tekhniki i issledovanie operatsii* (Combat efficiency of aviation equipment and operations research), Moscow, VVIA im. prof. N. E. Zhukovskogo, 1970, 500 p.

13. Bolkhovitinov O.V., Arbuzov I.V. et al. *Boevye aviatsionnye kompleksy i ikh effektivnost'* (Combat aircraft complexes and their effectiveness), Moscow, VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo, 2008, 225 p.
14. Makhnin V.L. *Metodiki kolichestvennoi otsenki vozmozhnosti i effektivnosti boevogo primeneniya aviatsionnykh sredstv porazheniya po nazemnym i morskim ob'ektam* (Quantitative techniques for possibility and effectiveness assessment of combat application of aircraft weapons on ground and sea objects: training manual), Voronezh, VUNTs VVS "VVA", 2016, 130 p.
15. Buravlev A.I., Brezgin V.S. *Metody otsenki effektivnosti primeneniya vysokotochnogo oruzhiya* (Methods for effectiveness evaluating of precision weapons), Moscow, ID Akademii Zhukovskogo, 2018, 232 p.
16. Anan'ev A.V., Rybalko A.G., Goncharenko V.I. *Izvestiya instituta inzhenernoi fiziki*, 2019, no. 3 (53), pp. 66 – 72.
17. Anan'ev A.V., Kashchenko G.A. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2016, no. 9-1, pp. 9 – 12.
18. Vishnyakov Ya.D., Radaev N.N. *Obshchaya teoriya riskov* (General theory of risks: training manual), Moscow, ITs "Akademiya", 2008, 368 p.
19. Andreev D.V. *Trudy MAI*, 2018, no. 101, available at: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=96651>
20. Selivanov V.V., Babkin A.V., Gryaznov E.F. et al. *Sredstva porazheniya i boepripasy* (Weapons and ammunition: textbook), Moscow, MGTU im. N. E. Baumana, 2008, 984 p.
21. Miropol'skii F.P., Pyr'ev E.V. et al. *Aviatsionnye boepripasy* (Aviation ammunition:

textbook), Moscow, VUNC VVS «VVA im. prof. N.E. Zhukovskogo i Yu.A. Gagarina», 2010, 407 p.

22. Vinchester Dzhim. *Reaktivnye istrebiteli* (Jet fighters), Moscow, Astrel', 2013, 320 p.

23. Zhirokhov M.A. *Opasnoe nebo Afganistana. Opyt boevogo primeneniya sovetskoi aviatsii v lokal'noi voine. 1979–1989* (Dangerous sky of Afghanistan. Experience of combat application of Soviet aviation in local war. 1979–1989), Moscow, Izd-vo Tsentrpoligraf, 2015, 319 p.

24. Krasnov A.M. *Trudy MAI*, 2012, no. 61, available at: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=35640>

25. Krasnov A.M. *Trudy MAI*, 2011, no. 49, available at: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=27946>

26. Vostrikov O.V. *Trudy MAI*, 2011, no. 48, available at: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=26757>

27. Guseinov A.B., Makhovykh A.V. *Trudy MAI*, 2016, no. 90, available at: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=74833>

28. Babich V.K. *Aviatsiya v lokal'nykh voinakh* (Aviation in local wars), Moscow, Voenizdat, 1988, 207 p.

29. Saati T. *Prinyatie reshenii pri zavisimostyakh i obratnykh svyazyakh. Analiticheskie seti* (Decision making with dependencies and backward links. Analytical networks), Moscow, Lenand, 2015, 314 p.

30. Rybalko A.G., Anan'ev A.V. *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika*, 2019, no. 11, pp. 58 – 68, available at: http://akademiya-vvs.rf/images/docs/vks/11-2019/vks_11_2019.pdf