

© Бордюков М.М., Казаков Г.В., Котяшев Н.Н., Сидоров А.В.
Bordiykov M., Kasakov G., Kotiashev N., Sidorov A.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ И ГРАФИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗОН РАЗВЕДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОСНАЩЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ РАКЕТ

ANALYTICAL AND GRAPHICAL REPRESENTATION BREEDING AREAS OF ELEMENTS BALLISTIC MISSILE

Аннотация. Предложены различные аналитические и графические формы представления размеров областей разведения элементов оснащения баллистической ракеты. Проведен сравнительный анализ эллипсоидальной и прямоугольной зон разведения, определен закон и параметры распределения их линейных размеров для различных вероятностей разведения элементов оснащения.

Annotation. Offered a variety of analytical and graphical presentation of the size of the regions of breeding items ballistic missiles. A comparative analysis of the ellipsoidal and rectangular areas of breeding, defined by law and the distribution parameters of the linear dimensions for the various elements of the probability of breeding equipment.

Ключевые слова. Зоны разведения элементов оснащения баллистической ракеты, формы представления, аналитические и графические интерпретации.

Key words. Dilution zone elements ballistic missile, representations, analytical and graphical interpretation.

Организация и технология применения баллистических ракет (БР) предполагает наиболее полное использования их конструктивно-баллистических возможностей, в том числе по максимально возможным областям их досягаемости и площадям разведения элементов оснащения (ЭО).

В статье логически продолжены исследования, начатые в работе [1], в которой рассмотрен методический подход к оценке границ досягаемости баллистических ракет в моноблочном оснащении. Более сложной задачей является задача оценки областей досягаемости для ракет с автономным блоком разведения элементов оснащения. В работе [2] предложен общий подход к прогнозной оценке размеров областей разведения элементов оснащения баллистической ракеты, в основу которого положены статистическое моделирование и аналитические зависимости, связывающие затраты энергии на разведение с размерами областей разведения элементов оснащения. В общем случае задачи оценки гра-

ниц досягаемости и областей достижимости ЭО БР относятся к классу задач гарантированного оценивания конечного фазового состояния управляемой динамической системы на заданном множестве достижимости, рассмотренных в общем виде в работе [3].

Учет возможностей по разведению элементов оснащения осуществляется как при их прогнозе на этапах проектирования БР, так и в ходе планирования и оценки эффективности их применения. Разнообразие форм представления зон разведения элементов оснащения требует более детального их исследования, в частности, соответствующего аналитического описания их различных графических интерпретаций.

При рассмотрении различных аналитических и графических форм представления размеров областей разведения элементов оснащения БР следует обеспечить:

- возможность нахождения наибольших по площади областей разведения элементов оснащения;
- возможность получения прогнозных областей

Бордюков Михаил Михайлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ФБУ «4 ЦНИИ Минобороны России», тел. (485) 515-32-94;

Казаков Геннадий Викторович – кандидат технических наук, доцент, начальник управления ФБУ «4 ЦНИИ Минобороны России»; Котяшев Николай Николаевич – доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник, ФБУ «4 ЦНИИ Минобороны России»;

Сидоров Алексей Викторович – старший научный сотрудник, ФБУ «4 ЦНИИ Минобороны России».

Bordiykov Mibail – candidate of technical science, leading researcher, the FBI "4 CRI Defense of Russia", tel. (485) 515- 32- 94;

Kasakov Gennadiy – candidate of technical science, head of department the FBI "4 CRI Defense of Russia";

Kotiashev Nikolay – doctor of technical science, professor, the senior researcher, the FBI "4 CRI Defense of Russia";

Sidorov Aleksey – the senior researcher, the FBI "4 CRI Defense of Russia".

разведения ЭО как для отработки БР, так и для планирования их применения;

- возможность получения прогнозных областей разведения ЭО БР по минимальному набору данных.

В условиях существенной неопределенности исходных данных и моделей полета ракеты оценки областей разведения элементов оснащения баллистической ракеты можно найти по априорно известному или рассчитанному [2] располагаемому запасу характеристической скорости на автономном блоке разведения (АБР).

В зависимости от приложений возможные фактические зоны (области) разведения элементов оснащения баллистической ракеты могут быть представлены в различных конфигурациях, например, в виде эллипсов или прямоугольников разведения, построенных в целевой системе координат, ориентированной по направлению увеличения дальности в плоскости стрельбы. Рассмотрим в этой связи аналитические и графические представления зон разведения элементов оснащения баллистических ракет.

1. Определение размеров стандартного прямоугольника разведения элементов оснащения

В ходе проектирования баллистической ракеты и при ее отработке удобно использовать область разведения элементов оснащения в виде стандартного прямоугольника [4], ориентированного в направлении увеличения дальности стрельбы, в котором разведение элементов оснащения осуществляется для заданных геофизических условий в некоторой последовательности по его углам.

Определение размеров стандартного прямоугольника разведения (СПР) при имеющемся на АБР запасе характеристической скорости на разведение элементов оснащения Wr для заданной сферической дальности стрельбы S осуществляется с использованием соотношения, связывающего размеры СПР с величиной характеристической скорости

$$Wr = dl \cdot \frac{l}{Lv(S)} + db \cdot \frac{b}{Bv(S)}, \tag{1}$$

где dl и db – параметры, соответственно задающие число перенацеливаний по дальности и боку при разведении элементов оснащения по углам СПР;

$Lv(S)$ и $Bv(S)$ – баллистические производные [2,5].

Для заданного соотношения сторон стандартного прямоугольника k это выражение примет вид (записано в функции размера стороны b)

$$Wr = dl \cdot \frac{b \cdot k}{Lv(S)} + db \cdot \frac{b}{Bv(S)}, \tag{2}$$

откуда сторона b может быть найдена, как корень уравнения

$$dl \cdot \frac{b \cdot k}{Lv(S)} + db \cdot \frac{b}{Bv(S)} - Wr = 0. \tag{3}$$

Решая это уравнение для конкретных значений dl и db , получим характерные размеры для b

$$b = \frac{Wr}{dl \cdot \frac{k}{Lv(S)} + db \cdot \frac{1}{Bv(S)}}. \tag{4}$$

На рис.1 это решение для некоторых гипотетических значений $dl=2$, $db=1$, $S=10000$ км, $k=2$ и $Wr=0,250$ км/с представлено графически

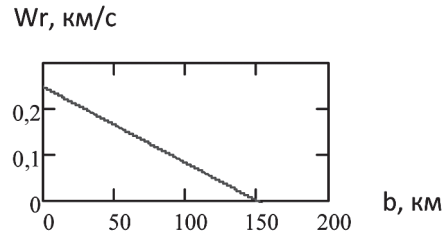


Рис.1. Иллюстрация поиска характерных размеров СПР для заданной дальности стрельбы

Характерные размеры стандартных прямоугольников разведения для различных дальностей стрельбы помещены на графике (рис.2).

Можно найти максимально возможную площадь СПР. С этой целью записывается функционал вида

$$\Phi(k, b, \lambda) = k \cdot b^2 + \lambda \left(\frac{2 \cdot k \cdot b}{Lv(S)} + \frac{b}{Bv(S)} - Wr \right), \tag{5}$$

где λ – неопределенный множитель Лагранжа.

Сторона b и соотношение k сторон СПР, доставляющие максимальную площадь СПР, находятся из решения системы дифференциальных уравнений

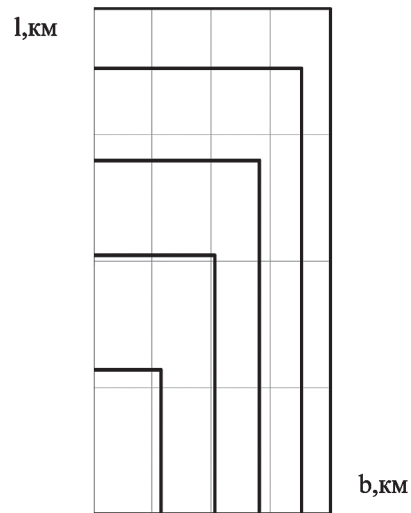


Рис.2. Вид СПР для заданных геофизических условий, различных дальностей стрельбы и соотношения его сторон, $k=2,5$

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi(k, b, \lambda)}{\partial k} = b^2 + \frac{2 \cdot \lambda \cdot b}{Lv(S)} = 0; \\ \frac{\partial \Phi(k, b, \lambda)}{\partial b} = 2 \cdot k \cdot b + \frac{2 \cdot \lambda \cdot k}{Lv(S)} + \frac{\lambda}{Bv(S)} = 0; \\ \frac{\partial \Phi(k, b, \lambda)}{\partial \lambda} = \frac{2 \cdot k \cdot b}{Lv(S)} + \frac{b}{Bv(S)} - Wr = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Экстремум функционалу (5) будут доставлять значения k и b , равные

$$k^* = \frac{Lv(S)}{2 \cdot Bv(S)}; \quad (7)$$

$$b^* = \frac{Wr \cdot Bv(S)}{2}. \quad (8)$$

Как видно из (7), оптимальное соотношение сторон увеличивается при увеличении отношения баллистических производных, т.е. при увеличении дальности стрельбы. Вычисления показывают, что, например, для сферической дальности стрельбы 10000км оптимальным соотношением было бы значение $k^*=2,56$ (практически это соотношение примерно одинаково в диапазоне k от 2 до 2,8), что видно на рис.3. С точки зрения разработчиков БР показательно было бы выбирать СПР с соотношениями сторон именно из этого диапазона.

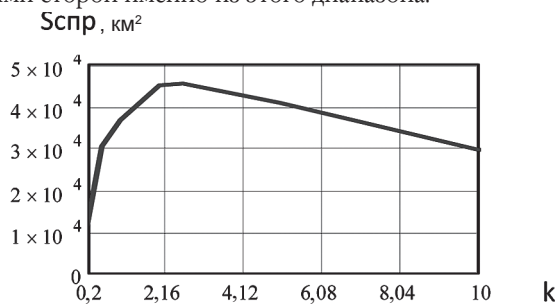


Рис.3. Площадь СПР для различных соотношений k его сторон и заданных условий стрельбы

При этом значении k^* площадь СПР будет максимальной, а затраты энергетика на разведение элементов оснащения по сторонам l и b будут равными, т.е.

$$\frac{2 \cdot k^* \cdot b^*}{Lv(S)} = \frac{b^*}{Bv(S)} = \frac{1}{2} \cdot Wr,$$

что в очередной раз подтверждает справедливость принципа равного вклада компонент при построении оптимальных решений.

2. Определение фактических размеров зон разведения элементов оснащения БР

В работе [2] предложен методический подход к оценке по минимальному набору исходных данных фактических областей разведения элементов оснащения, описываемых в виде прямоугольных зон разведения (ПЗР), разведение элементов оснащения в пределах пло-

щади которых распределяется равномерно.

Рассмотрим возможность формирования фактических зон разведения в виде эллипсов – эллиптических зон разведения (ЭЗР) и оценим их полезность.

Покажем вначале, что площадь прямоугольника со сторонами lp и bp будет равна площади эллипса с полуосями $ae=bp \cdot k/2$ и $be=bp/2$ (половинам сторон прямоугольника, где k – отношение его сторон), умноженной на коэффициент $\pi/4$. Для этого достаточно показать, что отношение их площадей равно $\pi/4$. Действительно

$$\frac{lp \cdot bp}{\pi \cdot ae \cdot be} = \frac{bp \cdot bp \cdot k}{\pi \cdot \frac{bp \cdot k}{2} \cdot \frac{bp}{2}} = \frac{4}{\pi}. \quad (9)$$

Отсюда следует, что можно построить бесконечное множество равновеликих прямоугольнику эллипсов, умножая их полуоси на некоторые коэффициенты $p1 \in [1..4/\pi]$ и $p2 \in [1..4/\pi]$ так, чтобы выполнялось равенство $p1 \cdot p2 = 4/\pi$.

При равновеликости фигур (прямоугольника и эллипса), естественно, обеспечивается выполнение равенства

$$\frac{bp \cdot bp \cdot k}{\pi \cdot \left(\frac{bp \cdot k}{2} \cdot p1\right) \cdot \left(\frac{bp}{2} \cdot p2\right)} = 1.$$

Однако из множества равновеликих эллипсов надо по некоторому правилу выбрать наиболее подходящий. Таким правилом, например, может быть изменение (далее будет показано: увеличение) полуосей эллипса на величину, пропорциональную баллистическим производным Lv и Bv . Для отыскания равновеликого по площади прямоугольнику эллипса с учетом выполнения этого условия запишем

$$\pi \left(\frac{lp}{2} + \Delta ae\right) \cdot \left(\frac{bp}{2} + \Delta be\right) = lp \cdot bp.$$

Степень увеличения исходных полуосей эллипса взвесим отношениями производных

$$\Delta ae = x \cdot \frac{Lv(S)}{Lv(S) + Bv(S)}; \quad \Delta be = x \cdot \frac{Bv(S)}{Lv(S) + Bv(S)},$$

где x – неизвестная величина.

Отсюда легко получить соотношение для приращений Δbe и Δae

$$\Delta be = \Delta ae \cdot \frac{Bv(S)}{Lv(S)}.$$

Подставляя это выражение в первое уравнение, получаем квадратное уравнение вида

$$\left(\frac{lp}{2} + \Delta ae\right) \cdot \left(\frac{bp}{2} + \Delta ae \cdot \frac{Bv(S)}{Lv(S)}\right) = \frac{lp \cdot bp}{\pi},$$

положительный корень которого и будет искомым его решением для x

$$x = \frac{-\frac{1}{2} \cdot \left(bp + lp \cdot \frac{Bv(S)}{Lv(S)} \right)}{2 \cdot \frac{Bv(S)}{Lv(S)}} + \frac{\sqrt{\frac{1}{4} \cdot \left(bp + lp \cdot \frac{Bv(S)}{Lv(S)} \right)^2 - 4 \cdot \frac{Bv(S)}{Lv(S)} \cdot lp \cdot bp \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{\pi} \right)}}{2 \cdot \frac{Bv(S)}{Lv(S)}}$$

Проверим теперь, выполняется ли условие равно- великости по затратам энергетики на разведение элемен- тов оснащения в ПЗР и в ЭЗР.

С этой целью моделируются (рис.4) точки паде- ния (ТП) ЭО случайно по равномерному закону в прямо- угольнике и равновеликом ему по площади эллипсе с использованием следующих выражений:

для ПЗР

$$Y_i = rnd(bp \cdot k) - \frac{bp \cdot k}{2}, \quad X_i = rnd(bp) - \frac{bp}{2}, \quad k = \frac{lp}{bp};$$

для ЭЗР

$$Ye_i = rnd(2 \cdot ae) - ae, \quad Xe_i = rnd(2 \cdot bp) - be, \\ ae = \frac{lp}{2} + \Delta ae, \quad be = \frac{bp}{2} + \Delta be.$$

Для того чтобы сгенерировать в ЭЗР то же коли- чество ТП, что и в прямоугольнике, генерируем в прямо- угольнике со сторонами be и be ТП, распределенные по равномерному закону, и в итерационном процессе прове- ряем выполнение условий принадлежности их и эллипсу

$$Ye_i = \begin{cases} Ye_i, & \text{если } Ye_i \leq \frac{b}{a} \cdot \left[be^2 - (Xe_i^2) \right]^{1/2} - \\ & - \frac{b}{a} \cdot \left[be^2 - (Xe_i^2) \right]^{1/2}; \\ rnd(2 \cdot ae) - ae, & \text{если } Ye_i \leq \frac{b}{a} \times \\ \times \left[be^2 - (Xe_i^2) \right]^{1/2} - \frac{b}{a} \cdot \left[be^2 - (Xe_i^2) \right]^{1/2}; \end{cases}$$

$$Xe_i = \begin{cases} Xe_i, & \text{если } Ye_i \leq \frac{b}{a} \cdot \left[be^2 - (Xe_i^2) \right]^{1/2} - \\ & - \frac{b}{a} \cdot \left[be^2 - (Xe_i^2) \right]^{1/2}; \\ rnd(2 \cdot be) - be, & \text{если } Ye_i \leq \frac{b}{a} \cdot \left[be^2 - (Xe_i^2) \right]^{1/2} - \\ & - \frac{b}{a} \cdot \left[be^2 - (Xe_i^2) \right]^{1/2}, \quad i = 1, \dots, m. \end{cases}$$

Определим требуемые затраты характеристиче- ской скорости для совокупности m ЭО в прямоугольни- ке и эллипсе как модулей (длин) двумерных векторов за-

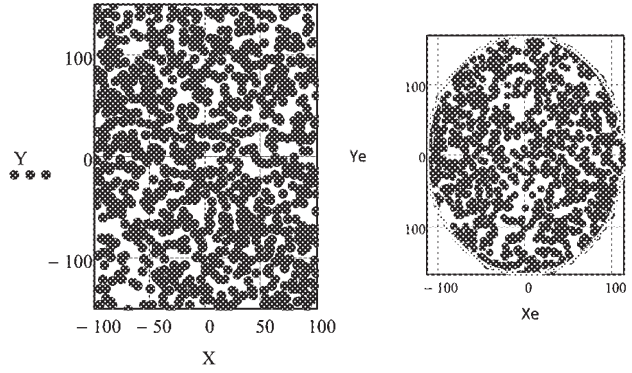


Рис.4. Моделирование ТП в равновеликих по площадям ПЗР и ЭЗР

трат энергетики на разведение по дальности и боку – их геометрические суммы

$$\Delta W_i = \sqrt{\left(\frac{Y_{i+1} - Y_i}{Lv(S)} \right)^2 + \left(\frac{X_{i+1} - X_i}{Bv(S)} \right)^2}, \quad (i=1, 2, \dots, m); \quad (10)$$

$$\Delta W_{ei} = \sqrt{\left(\frac{Ye_{i+1} - Ye_i}{Lv(S)} \right)^2 + \left(\frac{Xe_{i+1} - Xe_i}{Bv(S)} \right)^2}. \quad (11)$$

Для заданного объема выборки n соотношения сторон k рассматриваемых фигур, затрат энергетики на разведение m элементов оснащения, заданной дальности стрельбы S , нормальном законе затрат на разведе- ние (см. работу [2]) можно найти средние значения за- трат, средние квадратические отклонения (СКО) и пре- дельные с доверительной вероятностью P_d значения за- трат как для ПЗР, так и равновеликой ЭЗР. В табл. 1 и на графике (рис. 5) представлены результаты сравнения за- трат для одного из вариантов ($S_{ср} = 4000$ км, $m=6$, $n=10000$, $k=6$, $P_d=0,997$) как для произвольного маршрута обхода ТП в области разведения элементов оснащения, так и для оптимального.

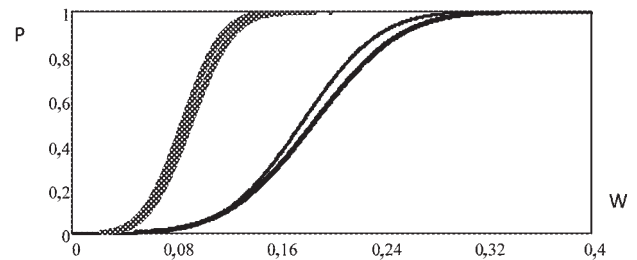


Рис.5. Распределения затрат характеристической скорости на разведение элементов оснащения в прямоугольной и эллипсоидальной зонах разведения ЭО (слева – для оптимального маршрута обхода ТП; справа – для произвольного маршрута)

Как видно из табл.1 и графика (рис. 5) затраты на разведение элементов оснащения в равновеликом эл- липсе для данного варианта исходных данных модели- рования существенно меньше.

Моделирование показывает, что равновеликие за-

Потребные затраты характеристической скорости на разведение ЭО в ПЗР и РЗР

Вид зоны разведения	Для произвольно заданного маршрута обхода			Для оптимального маршрута обхода		
	среднее	СКО	предельное	среднее	СКО	предельное
Прямоугольник	0,188	0,053	0,331	0,091	0,026	0,161
Эллипс	0,178	0,049	0,309	0,086	0,024	0,151

траты энергии на разведение элементов оснащения будут иметь место при некотором увеличении площади эллипса от исходных равновеликих площадей прямоугольника и ЭЗР. Так, для $S_{ср}=4000$ км и размерах прямоугольника 250x50 это увеличение будет составлять примерно 14% (см. рис.6).

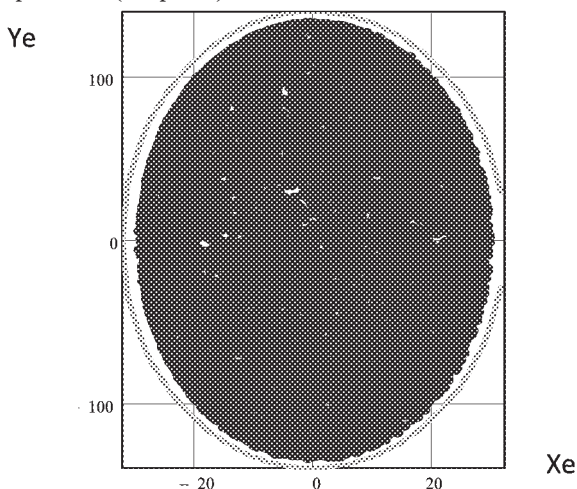


Рис.6. Иллюстрация увеличения площади ЭЗР при достижении равновеликих с ПЗР затрат энергии на разведение ЭО

Можно рассчитать значения превышений Op площади ЭЗР над равновеликой по затратам энергии на разведение ЭО ПЗР для всех возможных условий стрельбы: дальностей стрельбы, отношений линейных размеров зон разведения по дальности и боку. На графике (рис.7) приведены значения превышений в процентах для $S_{ср}=4000$ км и $S_{ср}=10000$ км и отношений линейных размеров площадей в диапазоне от 0,1 до 10.

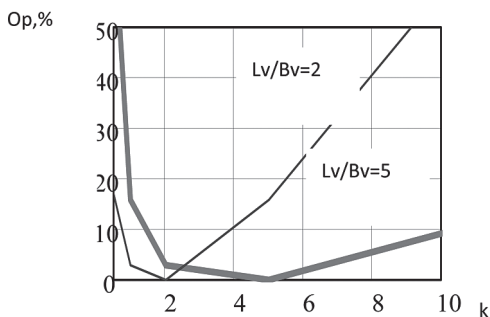


Рис.7. Результаты оценки отношений площадей эллипса и прямоугольника при равновеликих затратах энергии на разведение ЭО

Эти результаты приведены для числа ЭО $m=6$, однако нет никаких предпосылок к тому, что они не будут

иметь тот же характер и для произвольного числа элементов оснащения.

Моделирование с использованием метода итераций (пристрелки) подтверждает, что при одинаковых энергетических затратах на разведение элементов оснащения площадь ЭЗР будет превышать площадь ПЗР на величину, зависящую от соотношения сторон зон разведения и значений отношения баллистических производных $Lv(S)/Bv(S)$. Этот факт можно объяснить тем, что для разведения элементов оснащения по ТП, расположенных в углах ПЗР, требуется повышенный расход энергии и тем, что линии равных затрат энергии на разведение элементов оснащения образуют собой эллипс - геометрическую сумму векторов затрат энергии на разведение ЭО по дальности и боку (10) и (11).

Примерное равенство затрат наблюдается только в случае равенства отношений сторон зон разведения ЭО отношению баллистических производных.

Все вышеприведенные рассуждения подтверждают лишь то, что использование ЭЗР в сравнении с ПЗР вполне приемлемо и в некоторой степени полезно, ибо увеличивает площадь достижения ТП одной ракетой и, следовательно, повышает, в общем случае, коэффициент использования по назначению элементов оснащения баллистических ракет.

В работе [2] показано, что для равномерного закона распределения точек падения элементов оснащения в области их разведения как при оптимальном порядке, так и произвольном порядке разведения элементов оснащения по ТП, закон распределения затрат характеристической скорости на разведение ЭО является практически нормальным, т.е. $\Delta W \in N(m_w, \sigma_w^2)$.

Для перехода от затрат характеристической скорости на разведение ЭО к размерам сторон зон разведения ЭО докажем утверждение.

Утверждение 1. Распределение характерных размеров сторон располагаемой области разведения (например, стороны l в ПЗР или полуоси a в ЭЗР) будет иметь нормальное распределение $l = N[am_w, (a\sigma_w)^2]$, где параметр a определяется из соотношения

$$a = \frac{1}{\left(\frac{Kl}{Lv(S)} + \frac{Kb}{k \cdot Bv(S)} \right)}$$

Известно, что плотность распределения монотонной функции одного случайного аргумента представляется в виде [6]

$$\varphi(y) = F'(y) = f(\psi(y)) |\psi'(y)| \quad (12)$$

Для нашего случая

$$Y=l=aW; \quad \varphi(w) = \frac{1}{\sigma_w \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(W-m_w)^2}{2\sigma_w^2}\right);$$

$$w = \psi(l) = \frac{l}{a}; \quad \psi'(l) = \frac{1}{a}; \quad |\psi'(l)| = \frac{1}{|a|} = \frac{1}{a}$$

и, следовательно

$$q(l) = \frac{1}{a\sigma_w \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\left(\frac{l}{a} - m_w\right)^2}{2\sigma_w^2}\right).$$

Окончательно будем иметь

$$q(l) = \frac{1}{a\sigma_w \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[l - (a \cdot m_w)]^2}{2a^2 \sigma_w^2}\right\}. \quad (13)$$

Протяженность зон разведения элементов оснащения в функции вероятности разведения элементов оснащения

P	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,997	0,999
l, км	508	472	438	405	366	339	277	262

и, следовательно

$$l = N(am_w, a^2 \sigma_w^2). \quad (14)$$

Параметр a находится из следующих соображений. По аналогии с (1) можно показать, что необходимые для разведения ЭО запасы характеристической скорости W распределяются в некоторой пропорции для разведения ЭО по дальности l и боку b в зависимости от принятого закона распределения ТП в области разведения ЭО и характерных размеров области разведения

$$W = Kl \frac{l}{Lv(S)} + Kb \frac{b}{Bv(S)}, \quad (15)$$

где Kl и Kb – коэффициенты пропорциональности энергетических затрат при принятом законе распределения ТП в области разведения ЭО, которые зависят от соотношения k и которые несложно получить в ходе модельных экспериментов. Из (15) следует, что с учетом преобразования $l=aW$

$$l = \frac{Wr}{\left(\frac{Kl}{Lv(S)} + \frac{Kb}{k \cdot Bv(S)}\right)}; \quad a \cdot Wr = \frac{1}{\left(\frac{Kl}{Lv(S)} + \frac{Kb}{k \cdot Bv(S)}\right)} \cdot Wr;$$

$$a = \frac{1}{\left(\frac{Kl}{Lv(S)} + \frac{Kb}{k \cdot Bv(S)}\right)}. \quad (16)$$

Утверждение доказано.

Утверждение 2. Размеры одной из сторон располагаемой зоны разведения (например, l) для произвольной ве-

роятности разведения Pr находятся, как

$$l(Pr) = Ml \cdot a1 + 2,7 \sigma l \cdot a1.$$

В основу доказательства этого утверждения опять же могут быть положены рассуждения о плотности распределения монотонной функции случайного аргумента, использованные при доказательстве *утверждения 1*, а значение коэффициента $a1$ может быть получено из решения нелинейного уравнения

$$pnorm(Wr, Mop \cdot a1, \sigma op \cdot a1) - Pr = 0, \quad (17)$$

где $pnorm(Wr, Mop \cdot a1, \sigma op \cdot a1)$ - значение вероятности для располагаемых запасов характеристической скорости и нормального закона распределения энергозатрат на разведение ЭО по области разведения с параметрами $Ml \cdot a1, \sigma l \cdot a1$.

Результаты для гипотетических значений параметров представлены в табл. 2 и на графике (рис.8).

Квантиль распределения $l \in N(Ml \cdot a1, \sigma l \cdot a1)$ протяженности зон разведения элементов оснащения

Таблица 2

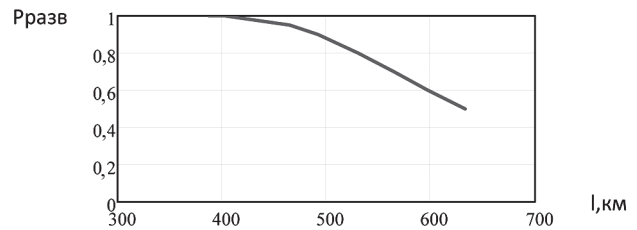


Рис.8. Графическое представление вероятности разведения элементов оснащения от протяженности зоны разведения ЭО для вероятностей 0,5 и 0,95 представлены на рис.9.

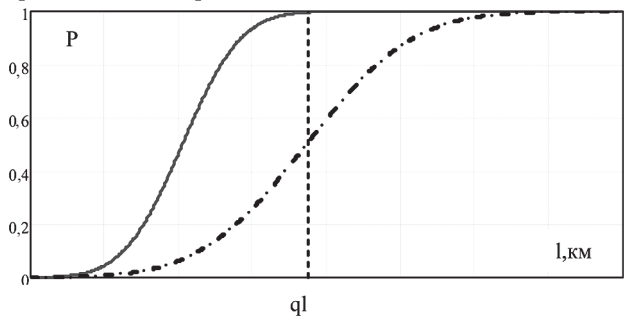


Рис.9. Распределения протяженности зон разведения для вероятностей разведения ЭО 0,999 (сплошная линия) и 0,5 (штрих-пунктирная линия)

На рис. 10а представлены размеры ПЗР для различных вероятностей разведения элементов оснащения, заданной дальности стрельбы и соотношений сторон ПЗР ($k=2$). На их основе можно построить огибающие располагаемых областей разведения для произвольных зна-

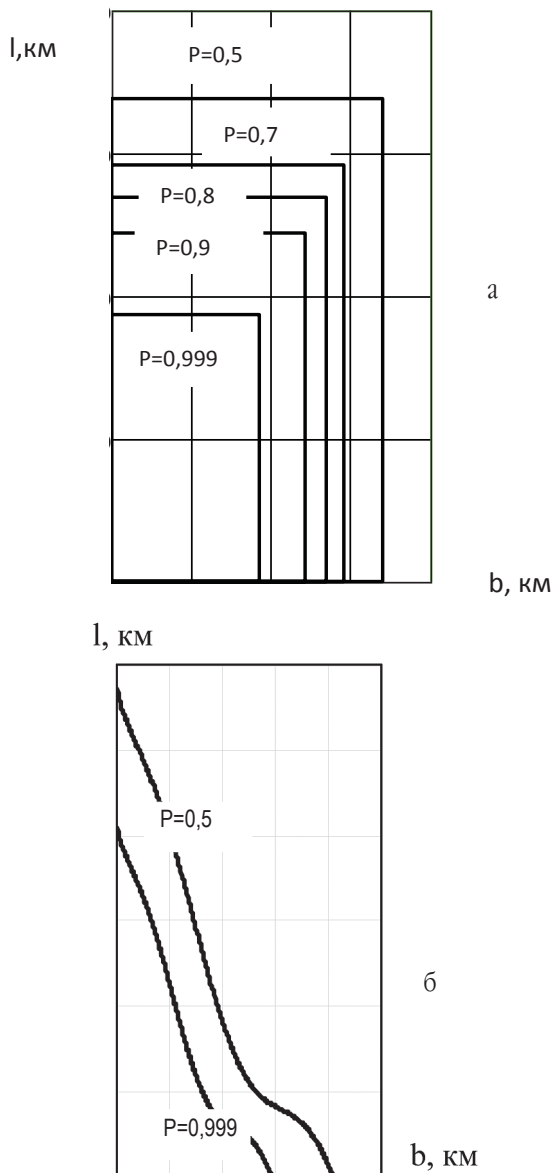


Рис.10. Располагаемые зоны разведения –а и их огибающие –б для произвольных значений k для различных вероятностей разведения элементов оснащения

чений сторон ПЗР, естественно, для заданного значения дальностей стрельбы (рис. 10б).

Важно рассмотреть и вопрос о максимально возможной располагаемой зоне разведения элементов оснащения. Для нахождения максимальных размеров зон разведения, по аналогии с нахождением максимальных размеров СПР, формируется функционал вида

$$\Phi(k, b, \lambda) = k \cdot b^2 + \lambda \left(Kl(k) \cdot \frac{2 \cdot k \cdot b}{Lv(S)} + Kb(k) \frac{b}{Bv(S)} - Wr \right). \quad (18)$$

Можно, как и в случае с СПР, свести задачу нахождения условного экстремума к решению задачи нахождения безусловного экстремума, но здесь это сделать значительно сложнее, так как коэффициенты $Kl(k)$ и $Kb(k)$ представляют из себя функции от k . Хорошим приближе-

нием для них могут стать аппроксимации вида

$$Kl(k) = a_1 + a_2 \cdot \exp(-a_3^2) \quad (19)$$

$$Kb(k) = a_4 + a_5 \cdot \exp(-a_6^k), \quad (20)$$

где коэффициенты $a_i, (i = 1, 2, \dots, 6)$ являются коэффициентами регрессий общего вида.

Для отыскания экстремума функционала (18) предпочтительно использовать методы вычислительной математики, изящно реализуемые в современных компьютерных системах [7]. На графике (рис.11) приведены зависимости площадей зон разведения от дальности стрельбы и различных соотношений сторон зон разведения ЭО БР.

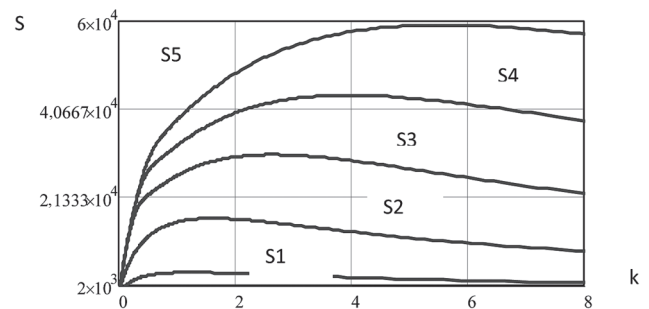


Рис.11. Зависимость площадей зон разведения элементов оснащения для различных дальностей стрельбы S и соотношений k характерных размеров зон разведения ЭО

Площадь, на которой способна поразить цели современная БР с элементами оснащения индивидуального наведения, определяется маневренными возможностями блока разведения, запасом характеристической скорости на разведение элементов, количеством разводимых ЭО и составляет от нескольких тысяч до нескольких сотен тысяч квадратных километров [8]

Инвариантные по затратам энергетики огибающие зон разведения ЭО можно построить относительно центра области разведения ЭО, относительно любой

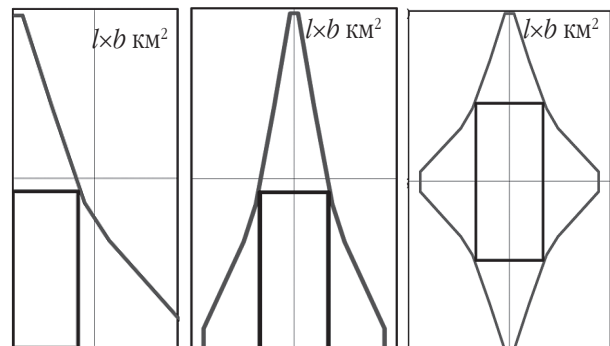


Рис.12. Возможные инварианты представления огибающих областей разведения элементов оснащения баллистической ракеты в целевой системе координат

ТП и в любой полуплоскости целевой системы координат (рис. 12).

На рис. 13 представлены другие, инвариантные по затратам характеристической скорости на разведение элементов оснащения представления для огибающих областей разведения. Так, например, межконтинентальная баллистическая ракета морского базирования «Трайдент-2» способна доставить к целям 8 боевых блоков на максимальную дальность до 7 400 км с диаметром круга разведения боевых блоков 250км [8]. На рис. 13а представлены в общем виде ее возможные зоны разведения для различных дальностей стрельбы и реально используемых значений соотношений сторон k зон разведения, а на рис.13б – для соотношения сторон характерных размеров зон разведения $k \in [0, \infty]$.

Для маневрирующих (после разведения) ЭО (МЭО) зоны разведения будут определяться числом совершаемых ими маневров, конструктивными параметрами МАО, системой коррекции движения и рядом других факторов. Их анализ требует отдельного рассмотрения.

Таким образом, в статье рассмотрены процедуры поиска максимальных размеров областей разведения элементов оснащения баллистической ракеты, найдены условия равновеликости по затратам энергетики эллиптической зоны разведения и прямоугольной, получены аналитические выражения для параметров распределения линейных размеров областей разведения, опи-

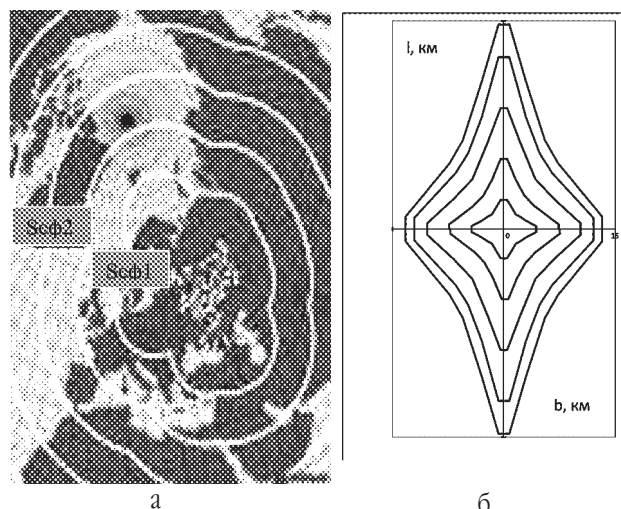


Рис.13. Зоны разведения элементов оснащения для различных дальностей стрельбы:

а – МБР «Трайдент -2» с заданным соотношения сторон зоны разведения ЭО; б– вид зон разведения для соотношении сторон областей разведения $k \in [0, \infty]$

саны трансформации областей разведения элементов оснащения в функции вероятностей их разведения. Решение указанных задач может быть востребовано при разработке средств поддержки решений, используемых в технологиях планирования применения БР. С их помощью может быть обеспечено наиболее полное использования конструктивно-баллистических возможностей БР при их применении.

Литература

1. Гончаренко В.И. Методический подход к оценке возможностей по досягаемости баллистической ракеты. //Стратегическая стабильность, №3, 2011.
2. Котяшев Н.Н., Галактионов В.С., Сидоров А.В. Метод оценки возможностей разведения элементов оснащения баллистической ракеты. //Стратегическая стабильность, №1, 2011.
3. Бордюков М.М., Галактионов В.С., Знак В.А., Казаков Г.В., Сидоров А.В. Гарантированное оценивание конечного фазового состояния управляемых систем на заданном множестве достижимости //Двойные технологии, №4, 2009, с.34-38.
4. Военный энциклопедический словарь РВСН. МО РФ. М.:Большая Российская энциклопедия, 1999. – 634с.
5. Аптазов Р.Ф., Лавров С.С., Мишин В.П. Баллистика управляемых ракет дальнего действия. М.: Наука, 1966. – 306с.
6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: АСАДЕМА. 2005. – 571с.
7. Кирьянов Д.В. Мультимедийное пособие по Mathcad –14. СПб.: БХВ, 2008.
8. Никольский В.И., Новичков Н.Н. Военные флоты мира. М.: АНО «Информационное агентство АРМС-ТАСС», 2009. -1097 с.

Материал поступил в редакцию 29. 05. 2013 г.