

В.А.Ерохин, кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

### Методический подход к расчету показателей эффективности применения ВТО, основанный на экспертных оценках<sup>1</sup>

*В статье рассматривается унифицированный способ расчетов по оценке эффективности применения средств ВТО как боеприпасов ударного действия по различным элементарным одиночным объектам, которые могут входить в состав поражаемых комбинаций групповых объектов. Расчеты базируются на использовании понятия среднего необходимого числа попаданий применяемых боеприпасов, достаточного для поражения элементарной цели по заданному типу.*

В ряде опубликованных ранее в данном журнале статей (А.И.Буравлев, В.С.Брезгин) [1, 7, 9] уже рассматривались методические вопросы расчета вероятности поражения наземных объектов высокоточным оружием (ВТО). В настоящей статье излагается еще один способ вычисления вероятности поражения объектов средствами ВТО, базирующийся на рассмотрении их как боеприпасов ударного действия с комбинированной боевой частью.

Учитывая, что ключевыми признаками ВТО являются высокая вероятность прямого попадания в заданную цель или ее уязвимый элемент наряду с наличием факторов комбинированного действия боевой части (проникающего, фугасного, осколочного), допустимо рассматривать образцы ВТО в общем случае как средства поражения (СП) ударного действия. Так, например, современные отечественные крылатые ракеты (КР), оснащенные боевой частью комбинированного действия калибра 500 кг, обладают характеристикой кругового вероятного отклонения  $KBO \leq 10 м$  и предназначены для применения по объектам инфраструктуры, промышленного потенциала, системы управления, энергетики и другим важным объектам. Поскольку указанные СП можно отнести к оружию точечного действия при прямом попадании в цель, для них могут быть определены экспериментально-расчет-

ным способом или экспертным образом, значения средних необходимых чисел попаданий  $\omega$  (как для ударных боеприпасов), достаточных для поражения по определенному типу конкретных отдельных одиночных элементарных объектов, или элементарных объектов, входящих в состав поражаемых комбинаций сложных групповых объектов. Искомые значения  $\omega$  могут быть получены путем вычисления оценок уязвимой площади поражения (разрушения)  $S_y$  элементарного объекта-цели относительно всей его площади –  $S_u$  аналогично как для СП ударного действия:

$$\omega = \frac{S_u}{S_y}.$$

В общем случае площадь цели можно определять как проекцию размерного объекта в плане на плоскость земной поверхности или на картинную плоскость стрельбы.

Уязвимая площадь объекта определяется при прямом попадании СП в цель с учетом совместного комбинированного действия поражающих факторов его боевой части на элементы конструкции, из которых состоит объект, технологические элементы и агрегаты, с учетом характеристик их уязвимости. Оценка уязвимой площади поражения при попадании СП в размерный физический объект может быть получена с использованием математических моделей, разработанных на основе имитационного моделирования процессов действия

1 Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 12-08-041а).

поражающих факторов боевой части СП на структурные элементы объекта. На практике, зачастую для разработки и обеспечения таких моделей исходной информацией, не всегда бывают достоверно известны значения некоторых необходимых исходных данных, и в таких случаях, вынужденным решением задачи может быть использование экспертных оценок. Для этого специалисты эксперты по боеприпасам на основе научных знаний и практического опыта могут оценивать с определенным уровнем достоверности искомые величины уязвимых площадей поражения для конкретных объектов и значения средних необходимых чисел попаданий боеприпасов, соответствующих действию поражающих факторов боевой части применяемых средств ВТО.

Расчеты эффективности применения ВТО в такой постановке могут быть упрощены по сравнению с расчетами, предложенными в методике А.И.Буравлева [1]. Предлагаемый здесь подход позволяет свести расчеты к единообразному алгоритму, основанному в частности на соотношениях оперативных методик, опубликованных в [2, 3] при использовании известной формы условного закона поражения.

Указанные методики позволяют определять вероятность поражения одиночных объектов, математическое ожидание доли пораженных элементов групповых объектов (или гарантированный ущерб с заданным уровнем вероятности) при действии заданного наряда средств ВТО, или их полигонные наряды, необходимые для достижения заданного ущерба на объекте. Для решения этих задач должны быть определены или известны характеристики точности применения средств ВТО в плоскости расположения цели (или в проекции на картинную плоскость) – вероятные отклонения нормального рассеивания  $(E_x, E_z)$  вдоль главных осей координат:  $X$  – по дальности полета ВТО,  $Z$  – в боковом направлении. Расчетные значения этих характеристик должны соответствовать кон-

кретным условиям боевого применения ВТО в районе нахождения цели.

Для типовых легко уязвимых войсковых объектов поражения, например, РЛС определяются интегральные характеристики поражающего действия боеприпасов с учетом поражающих факторов дистанционного действия боевой части (фугасного, осколочного, зажигательного) – площади приведенных зон поражения (ПЗП) по разным типам (А, В, С). Площади ПЗП ( $S_n$ ) вычисляются относительно центра цели путем осреднения координатного закона поражения (КЗП) цели в проекции на плоскость ее расположения. Для этих объектов размеры сторон ПЗП могут превышать физические размеры проекции цели, а условная вероятность поражения в пределах ПЗП принимается равной единице ( $G_1=1$ ). Расчеты эффективности применения ВТО по таким объектам выполняются также в плоскости их расположения на земной поверхности. Вероятность поражения цели одним средством ВТО при применении по легко уязвимым объектам определяется вероятностью его попадания в площадь ПЗП, так как условная вероятность поражения цели в пределах площади ПЗП принимается равной единице.

Поскольку составляющими элементами объектов военно-экономического потенциала (ВЭП) и инфраструктуры являются в основном прочные трудно уязвимые размерные цели (железобетонные здания, сооружения, технологические конструкции и агрегаты, хранилища и пр.), для поражения которых необходимо прямое попадание СП, то методически более удобно проводить расчеты эффективности в проекции цели на картинную плоскость, перпендикулярную вектору скорости  $V$  средства ВТО при подлете его к цели. При этом для вычисления вероятности попадания СП в цель, необходимо спроектировать геометрические размеры цели, представленной в форме параллелепипеда, на картинную плоскость с учетом углов подлета к ней в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Вероятность попадания СП в проекцию цели вычисляется

с учетом значений характеристик рассеивания, определенных в той же плоскости. Условная вероятность поражения цели  $G_1$  при попадании одного СП вычисляется через определенное значение среднего необходимого числа попаданий –  $\omega$ :  $G_1 = \frac{1}{\omega}$ .

В видовых методиках расчетов эффективности применения средств поражения, принятых в ВВС, Ракетных войсках и артиллерии (РВиА) традиционно используются в качестве характеристик нормального закона рассеивания СП их вероятные отклонения вдоль главных осей  $E_x$ ,  $E_z$  при рассеивании на земной поверхности, или круговое вероятное отклонение  $E_{кво}$  (КВО) при круговом рассеивании СП в картинной плоскости по закону Релея. Общеизвестно, что закон рассеивания при стрельбе является нормальным и величина вероятного отклонения рассеивания  $E$  используется только для нормального закона, в отличие от общеупотребительной характеристики среднеквадратического отклонения (с.к.о.)  $\sigma$ , которая применяется для любых законов распределения случайных величин. Удобство использования характеристик вероятных отклонений (в.о.) рассеивания СП вместо с.к.о., объясняется практической простотой вычисления оценок значений вероятного отклонения (или кругового вероятного отклонения) по сравнению с вычислением характеристики с.к.о. их рассеивания. Так, например, при проведении достаточного числа испытаний с применением реальных образцов боеприпасов и определении координат всех точек попаданий при их рассеивании на поверхности, можно легко вычислить значение кругового вероятного отклонения  $E_{кво}$ , как радиус круга, в пределах которого будет находиться половина точек попаданий СП. Между разными характеристиками рассеивания ( $E$  и  $\sigma$ ) для нормального закона распределения существуют известные соотношения:  $E = 0,57 \cdot E_{кво}$ ;  $E = 0,674 \sigma$ ;  $\sigma = 0,85 E_{кво}$ .

Полученные значения характеристик рассеивания СП используются далее для вычисления вероятности попадания боеприпасов в площадь ПЗП для легко уязвимых войсковых объектов, или в проекцию цели в картинной плоскости для случаев применения средств ВТО по размерным элементарным объектам. Для этого размеры сторон проекции цели в прямоугольной системе координат выражаются в относительных значениях характеристик рассеивания по соответствующим осям ( $X$ ,  $Z$ ), а затем определяется вероятность попадания СП в цель  $P_1$  как произведение вероятностей попадания  $P_x$  и  $P_z$  в полуразмеры сторон проекции цели по осям координат  $\frac{C_x}{2}$ ;  $\frac{C_z}{2}$  при отсутствии систематических ошибок. Направление оси  $X$  в плоскости проекции расположения цели на земной поверхности принято выбирать по дальности полета средства поражения (носителя). Ось  $Z$  направлена перпендикулярно в боковом направлении. Указанные вероятности определяются с использованием соответствующих известных форм табличных функций нормального распределения, приведенных в учебниках или в справочной литературе [4, 5]. Так, если характеристики рассеивания представлены в вероятных отклонениях, то используются таблицы приведенной функции Лапласа:

$$\hat{F}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\rho} x e^{-t^2} dt,$$

где  $\rho = 0,4769$ , а значения аргумента  $x$  выражены в в.о.

Если характеристики рассеивания определены в с.к.о., то используются таблицы нормальной функции распределения:

$$\hat{\Phi}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

или таблицы для другой формы интеграла вероятностей (функции Лапласа):

$$\Phi(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt,$$

где в обоих случаях значения аргумента  $x$  выражены в с.к.о.

Для удобства практических расчетов вместо таблиц можно пользоваться аппроксимирующими формулами с относительной погрешностью результатов менее 1%. Так, например [6]:

$$\Phi(x) = \sqrt{1 - e^{-\frac{2x^2}{\pi}}},$$

где  $x = \frac{Ц}{2\sigma}$ .

Между указанными разновидностями форм нормального закона распределения существует зависимость, определяемая следующими соотношениями:

$$\hat{F}(x) = 2\hat{\Phi}(x\rho\sqrt{2}) - 1 = \Phi(x\rho\sqrt{2}),$$

где аргумент  $x$  выражен в относительных значениях вероятного отклонения рассеивания по соответствующей координате  $x = \frac{Ц}{2E}$ .

После вычисления характеристик рассеивания необходимо определить размеры проекции элементарной цели  $Ц_x, Ц_z$  в плоскости рассеивания СП и значение среднего необходимого числа попаданий  $\omega$  для того или иного типа поражения цели. Размеры проекции цели на плоскости должны быть определены с учетом направления захода ВТО на цель и угла подхода к ее поверхности. Характеристики рассеивания точек попаданий средств ВТО должны быть также определены в плоскости расположения цели (или в проекции на картинную плоскость).

Обозначим размеры сторон проекции цели величинами  $l_x = Ц_x; l_z = Ц_z$ . Площадь проекции цели –  $S_u = l_x \cdot l_z$ . Определим вероятные отклонения нормального рассеивания точек попаданий ВТО в проекцию цели на земной поверхности при известных значениях КВО в картинной плоскости:  $E_x = 0,57 \frac{E_{кво}}{\sin \lambda}$  –

по дальности полета средства ВТО,

$E_z = 0,57 E_{кво}$  – в боковом направлении,

где:  $E_{кво}$  – круговое вероятное отклонение рассеивания образца ВТО, м,

$\lambda$  – угол подхода ВТО к поверхности расположения цели.

Вероятность поражения цели одним высокоточным СП определяется по формуле:

$$W_1 = P_1 G_1 = \hat{F}_x \left( \frac{l_x}{2E_x} \right) \hat{F}_z \left( \frac{l_z}{2E_z} \right) G_1,$$

где:  $P_1$  – вероятность попадания СП в площадь проекции цели,

$\hat{F}(t)$  – приведенная функция Лапласа [2],

$G_1 = \frac{1}{\omega}$  – условная вероятность поражения цели при попадании одного СП,

$\omega$  – среднее необходимое число попаданий для заданного типа поражения цели.

Приведенная функция Лапласа может быть определена приближенно с достаточной для практики точностью по формуле аппроксимации, полученной из указанной выше формулы для значений аргумента, выраженных в среднеквадратических отклонениях с учетом пересчета аргумента в вероятных отклонениях:

$$\hat{F}(t) = \sqrt{1 - e^{-(2/\pi)(t\rho\sqrt{2})^2}} = \sqrt{1 - e^{-0,29t^2}},$$

где  $t = \frac{l}{2E}$ .

При применении нескольких однотипных средств ВТО по одиночной цели, вероятность ее поражения определяется по формуле для независимых выстрелов при отсутствии накопления ущерба в форме условного показательного закона поражения:

$$W_n = 1 - (1 - W_1)^n.$$

Отсюда можно определить число  $n$  средств ВТО, необходимое для достижения заданного уровня поражения цели  $W_n = W_3$ . Заданный уровень поражения устанавливается в зависимости от степени важности поражаемого объекта ( $W_3 = 0,8; 0,9$ ):

$$n = \frac{\ln(1 - W_3)}{\ln(1 - W_1)}.$$

Рассмотрим в качестве примера в общем случае определение размеров проекции размерного объекта поражения, представленного

в форме параллелепипеда, на картинную плоскость, перпендикулярную вектору скорости подлетающего к цели СП. Для этого необходимо спроектировать геометрические контуры цели на картинную плоскость с учетом углов подлета СП к цели в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Таковыми углами является угол направления захода  $\varphi$ , определяемый относительно од-

ной из сторон цели, например, по отношению к ее длине  $D$ , и угол пикирования  $\lambda$ . На рисунке 1 представлена схема, поясняющая вычисление размеров проекции цели  $Ц_x, Ц_z$ , изображенной в форме параллелепипеда, на картинную плоскость, перпендикулярную вектору скорости  $V$  при подлете СП к центру цели. Направление вектора  $V$  определяется углами  $\varphi$  и  $\lambda$ .

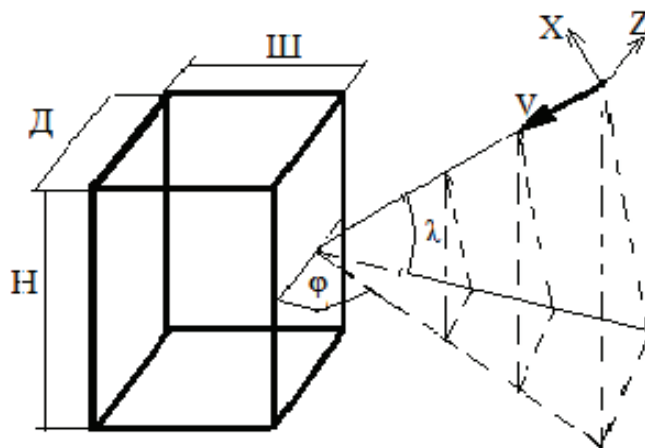


Рисунок 1 – Вычисление размеров проекции цели на картинную плоскость

Размеры проекции цели  $Ц_x, Ц_z$  в картинной плоскости определяются по следующим формулам:

$$Ц_x = H \cos(\lambda) + \min \left\{ D; \frac{Ш \sin(\lambda)}{\sin(\varphi)} \right\} \sin(\lambda);$$

$$Ц_z = D \sin(\varphi) + Ш \cos(\varphi),$$

где:  $H, Ш, D$  – высота, ширина и длина цели. Угол  $\varphi$  измеряется относительно длины  $D$  (длинной стороны) цели в пределах от нуля до 90 градусов ( $0^\circ \leq |\varphi| \leq 90^\circ$ ). Угол  $\lambda$  измеряется в вертикальной плоскости от горизонтальной земной поверхности в пределах от нуля до 90 градусов ( $0^\circ \leq \lambda \leq 90^\circ$ ). Ось  $X$  картинной плоскости направлена в верхнюю полусферу перпендикулярно вектору скорости  $V$ , ось  $Z$  – перпендикулярна  $X$  и вектору  $V$ . Зная размеры проекции цели  $Ц_x, Ц_z$  и характеристики рассеивания СП на плоскости можно вычислить вероятность его попадания в площадь проекции цели по одной из формул, используя соответствующую форму нормального закона:

$$P_1 = \hat{F}(x) \left( \frac{Ц_x}{2 E_x} \right) \hat{F}(z) \left( \frac{Ц_z}{2 E_z} \right) =$$

$$= \Phi_x \left( \frac{Ц_x}{2 \sigma_x} \right) \Phi_z \left( \frac{Ц_z}{2 \sigma_z} \right).$$

Рассмотрим пример поражения ректификационной колонны нефтеперерабатывающего завода крылатой ракетой (КР), имеющей комбинированную боевую часть калибра 500 кг и круговое вероятное отклонение рассеивания  $E_{кво} = 10 м$ .

Колонна имеет высоту 45 м и диаметр 7 м. Для поражения колонны достаточно одного попадания КР:  $\omega = 1$ . Крылатая ракета подлетает к колонне на малой высоте горизонтального полета и наводится по центральной части высоты колонны. Расчеты эффективности проведем в плоскости проекции колонны на вертикальную плоскость, совпадающую в данных условиях с картинной плоскостью, перпендикулярной вектору скорости КР.

Определим исходные данные для расчетов. Выберем начало координат и направле-

ние осей. Начало координат совпадает с точкой прицеливания (наведения) КР в центральной части колонны, ось  $X$  направлена вверх вдоль высоты колонны, ось  $Z$  перпендикулярна ей и вектору скорости КР. Высота ко-

$$W_1 = P_1 G_1 = \hat{F}_x \left( \frac{45}{2 \cdot 5,7} \right) \hat{F}_z \left( \frac{7}{2 \cdot 5,7} \right) G_1 = \sqrt{1 - e^{-0,29 \cdot 3,95^2}} \cdot \sqrt{1 - e^{-0,29 \cdot 0,61^2}} \cdot 1 = 0,32.$$

Итак, вероятность поражения цели в данных расчетных условиях составляет всего 32% по причине сопоставимого значения характеристики рассеивания КР в боковом направлении по координате  $Z$  по сравнению с размером цели в этом направлении ( $E_z = 5,7 \text{ м}, l_z = 7 \text{ м}$ ).

Вероятность поражения ректификационной колонны, определенная по методике А.И.Буравлева [1] для тех же исходных данных, составляет  $W = 0,25$ . Анализ расчетных формул, используемых для определения величины  $W$  в обеих рассматриваемых методиках, позволяет сделать вывод, что при улучшении (уменьшении) характеристик точности применения средств ВТО, результаты расчетов по обеим методикам будут все ближе совпадать.

Рассмотрим другой пример поражения одиночной цели, имеющей иную конфигурацию и расположение. В качестве такой цели выберем, например автомобильный мост. Мост состоит из шести пролетов ( $K_{np} = 6$ ), имеет длину  $D = 1200 \text{ м}$ , ширину  $Ш = 8 \text{ м}$  и высоту над рекой  $20 \text{ м}$ . Для разрушения пролета моста при применении КР того же типа как в предыдущем примере, среднее необходимое число попаданий составляет  $\omega = 2$ . Будем рассматривать вариант наведения КР на мост, которая подлетает к нему под небольшим углом вдоль его длины в проекции на горизонтальную плоскость и с углом пикирования  $\lambda = 20^\circ$ . Примем в данном случае значение кругового вероятного отклонения равным  $E_{кво} = 5 \text{ м}$ .

Подготовим необходимые исходные данные для расчетов. Расчеты будем проводить в

лонны  $H = l_x = 45 \text{ м}$ , ширина (диаметр)  $Ш = l_z = 7 \text{ м}$ . Вероятные отклонения рассеивания по осям:  $E_x = E_z = 0,57 \cdot 10 = 5,7 \text{ м}$ .

Определим вероятность поражения ректификационной колонны:

горизонтальной плоскости расположения полотна моста.

Определим длину пролета моста:

$$L_x = \frac{D}{K_{np}} = \frac{1200}{6} = 200 \text{ м}.$$

Ширина пролета составляет  $Ш = 8 \text{ м}$ .

Предполагаем, что КР наводится по центру пролета.

Определим характеристики рассеивания КР в плоскости расположения полотна моста с учетом угла пикирования  $\lambda = 20^\circ$ .

$$E_x = \frac{0,57 \cdot 5}{\sin 20^\circ} = 8,33 \text{ м};$$

$$E_z = 0,57 \cdot 5 = 2,85 \text{ м}.$$

Определим вероятность поражения пролета моста одной КР:

$$W_1 = P_1 G_1 = \hat{F}_x \left( \frac{200}{2 \cdot 8,33} \right) \hat{F}_z \left( \frac{8}{2 \cdot 2,85} \right) \cdot \frac{1}{2} = 1 \cdot 0,65 \cdot 0,5 = 0,33$$

Вероятность попадания одной КР в пролет моста по расчетам составляет  $P_1 = 0,65$ , а вероятность его поражения –  $W_1 = 0,33$ .

Определим число КР, необходимое для разрушения пролета моста с вероятностью  $W_3 = 0,9$ :

$$n = \frac{\ln(1 - W_3)}{\ln(1 - W_1)} = \frac{\ln(1 - 0,9)}{\ln(1 - 0,33)} = 5,7 \approx 6.$$

Итак, для разрушения пролета моста с вероятностью  $0,9$  в данных расчетных условиях необходимо применение шести КР, наводящихся по одной точке прицеливания без учета накопления ущерба.

Факт накопления ущерба и его учет при попадании в размерный одиночный промышленный или инфраструктурный объект (например, заводское здание производствен-

ного цеха, или энергетического предприятия; площадка технологического оборудования того или иного производства и т.п.) нескольких боеприпасов ( $n > 1$ ) комбинированного действия имеет определенный методический и практический интерес. Так, например, в расчетах по оценке эффективности для ударных боеприпасов обычно используется условная вероятность поражения цели при попадании одного СП, вычисляемая как отношение определенной уязвимой площади поражения цели

к общей ее площади ( $G_1 = \frac{S_y}{S_u}$ ) при условии,

что точки попадания СП распределяются по всей поверхности цели. Обратная величина этого отношения определяет значение среднего необходимого для поражения цели числа попаданий ( $\omega = \frac{S_u}{S_y}$ ) и является параметром

условного показательного закона поражения при отсутствии накопления ущерба:

$$G(n) = 1 - (1 - G_1)^n.$$

По виду этой формулы можно заметить, что условная вероятность поражения цели приближается к единице в пределе при достаточно большом значении  $n$  (для случаев, когда  $G_1 \leq 0,5$ ). Для реальных объектов практически достоверное поражение (например, разрушение и обрушение конструкции) наступает при некотором критическом значении  $n_k = m$  (в частном случае при  $n_k = \omega$ ) за счет явления накопления ущерба, в основе которого лежит синергетический суммарный эффект, когда каждое последующее попадающее в цель СП имеет большую площадь разрушений чем предыдущее, либо за счет снижения прочности конструкции объекта поражения, или за счет возникновения вторичных деструктивных эффектов (взрывов, пожаров).

Для дальнейших исследований эффективности применения средств ВТО (КР) введем в

рассмотрение так называемый форсированный условный закон поражения цели, для которого примем линейную форму закона накопления ущерба цели  $G_n$  при независимом применении по ней  $n$  боеприпасов. В качестве возможного варианта можно предложить следующую формулу для определения  $G_n$ :

$$G(n) = \min\{1; nG_1\}.$$

Отсюда можно заметить, что при  $n \geq G_1^{-1}$  условная вероятность поражения цели  $G_n$  будет равна единице, т.е. при  $n_k = \omega$ ;  $G_n = 1$ .

Определим в этом случае вероятность поражения пролета моста при применении  $n$  средств ВТО. Так как форсированный условный закон поражения не является показательным, то вероятность поражения цели необходимо определять по общей формуле полной вероятности (формуле Колмогорова):

$$W_n = \sum_{m=1}^n P_{m,n} G_m,$$

где  $P_{m,n} = C_m^n P_1^m q^{n-m}$ ;

$$C_m^n = \frac{n!}{m!(n-m)!};$$

$$q = 1 - P_1.$$

Из этой формулы можно определить наряд  $n$  КР, необходимый для достижения заданного уровня поражения цели  $W_n = W_3$  методом подбора (итераций), задаваясь исходным значением  $n$ , вычисляя  $W_n$  и сравнивая его с заданным  $W_3$ .

Определим для условий предыдущего примера необходимое число КР для разрушения пролета моста с заданной вероятностью  $W_3 = 0,9$  с учетом накопления ущерба.

В данном случае, поскольку  $G_1 = 0,5$  и при  $n \geq 2$ ,  $G_n = 1$ , то в качестве первого приближения зададимся значением  $n = 2$  КР. Определим последовательно значения  $W_n$  (для  $n = 2, 3, 4$ ), учитывая, что  $P_1 = 0,65$ :

$$W_2 = \sum_{m=1}^2 P_{m,2} G_m = C_2^1 P_1^1 q^{2-1} G_1 + C_2^2 P_2^1 q^0 G_2 = 2 \cdot 0,65 \cdot 0,35 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,423 \cdot 1 = 0,65,$$

$$W_3 = \sum_{m=1}^3 P_{m,3} G_m = C_3^1 P_1^1 q^{3-1} G_1 + C_3^2 P_2^1 q^{3-2} G_2 + C_3^3 P_3^1 q^0 G_3 =$$

$$= 3 \cdot 0,65 \cdot 0,35^2 \cdot 0,5 + 3 \cdot 0,65^2 \cdot 0,35 \cdot 1 + 1 \cdot 0,65^3 \cdot 0,35^0 \cdot 1 = 0,84$$

$$W_4 = \sum_{m=1}^4 P_{m,4} G_m = 0,93 > 0,9, \text{ при } n=4.$$

Таким образом, учет накопления ущерба позволяет заметно уменьшить расчетный наряд КР (в данном примере с 6-ти до 4-х), необходимый для нанесения цели заданного уровня поражения  $W_3 = 0,9$ .

В статье Буравлева А.И. и Брезгина В.С. [7], предложена другая форма закона накопления ущерба с вычислением коэффициента накопления ущерба и учетом его приращений также по линейному закону. В результате решения приведенного выше примера по указанному в статье способу при использовании тех же исходных данных и рассчитанных значений промежуточных величин ( $G_1 = 0,5$ ;  $P_1 = 0,65$ ;  $m = 2$ ;  $k = 1,41$ ), пролет моста может быть поражен пятью КР с вероятностью  $W_5 = 0,91 > 0,9$ .

Профессор Ф.П.Миропольский предложил вариант форсированного показательного условного закона поражения следующего вида [8]:

$$G_F(m) = \begin{cases} 0, & \text{при } m_1 = 0; \\ r_1 + k_F(1-r_1)[1-(1-r_1)]^{m-1}, & \text{при } 1 \leq m \leq m_1; \\ 1, & \text{при } m > m_1. \end{cases}$$

$$k_F = \frac{1}{1-(1-r_1)^{m_1-1}}; \quad r_1 = 1/\omega$$

Решение рассматриваемого примера с использованием указанных исходных данных и рассчитанных промежуточных величин ( $r_1 = G_1 = 0,5$ ;  $P_1 = 0,65$ ;  $m_1 = 2$ ;  $k_F = 2$ ) приводит к результату, практически совпадающему с предыдущим:  $W_5 = 0,93 > 0,9$ . То есть, пролет моста поражается в заданной степени пятью ракетами.

При планировании применения и оценке эффективности применения средств ВТО по отдельным крупным объектам ВЭП (например, по зданиям заводских цехов, производственным площадкам с оборудованием и агрегатами технологических циклов, а также по другим отдельным протяженным объектам), размеры которых значительно превышают характеристики рассеивания ВТО, необходимо учитывать возможность рассредоточения нескольких точек прицеливания на проекции цели, если одного СП не достаточно для достижения заданного уровня поражения. При этом ожидаемые результаты применения ВТО, для которых равномерно рассредоточенные точки прицеливания (наведения) лежат в пределах некоторой области относительно центра цели, границы которой не превышают диапазона предельного рассеивания боеприпасов, можно учесть аддитивной формой накопления ущерба на объекте. Это означает, что вероятность поражения объекта при применении  $n$  средств ВТО будет равна сумме вероятностей его поражения  $W_i$  каждым СП, направленным по своей точке прицеливания. При осреднении вероятностей  $W_i = W_1$  суммарная вероятность поражения объекта определяется простой формулой:

$$W_n = M_n = \min\{1; n \cdot W_1\}.$$

Следует отметить, что такие расчеты допустимо проводить для объектов, обладающих некоторой однородностью по уязвимости элементов их структуры и состава, для которых можно определять или задавать усредненное значение приведенной площади разрушений и соответствующее значение услов-



ной вероятности поражения цели одним конкретным средством поражения ВТО.

Предложенные формы форсированного условного закона накопления ущерба могут быть использованы не для всех типов целей,

для которых должны быть применены формы другого вида. Уточнение этого вопроса требует дополнительных исследований также с привлечением экспертов.

#### **Список использованных источников**

1. Буравлев А.И. Методика оценки вероятности поражения размерных объектов высокоточными средствами поражения // Вооружение и экономика. – 2012. – № 2 (18).
2. Мильграм Ю.Г., Ерохин В.А. Основы единой зонной методики оценки эффективности применения авиационных средств поражения по наземным объектам. – М.: ВВИА имени проф. Н.Е.Жуковского, 1985.
3. Васильев В.Н. Экспресс-алгоритм расчетов полигонных нарядов при действии по наземным объектам. – М.: ВВИА имени проф. Н.Е.Жуковского, 1984.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969.
5. Абергауз Г.Г. Справочник по вероятностным расчетам. – М.: Воениздат, 1970.
6. Епанечников В.А., Цветков А.Н. Справочник по прикладным программам для микрокалькуляторов. – М.: Финансы и статистика, 1988.
7. Буравлев А.И., Брезгин В.С. Методика оценки ущерба при имитационном моделировании огневого поражения объектов // Вооружение и экономика. – 2012. – № 5 (21).
8. Миропольский Ф.П., Пырьев Е.В., Головенкин В.В., Хрулин С.В. Авиационные боеприпасы. – М.: ВУНЦ ВВС «ВВИА им.проф. Н.Е.Жуковского и Ю.А.Гагарина», 2010.
9. Буравлев А.И., Брезгин В.С. Об оценке эффективности поражения высокоточным оружием объектов военно-экономического потенциала // Вооружение и экономика. – 2013. – № 1 (22).