

*Е.Н. НИКУЛИН, Е.Н. СЕРГЕЕВ*

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ОСКОЛОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ  
ОСКОЛОЧНО-ФУГАСНЫХ  
СНАРЯДОВ**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Балтийский государственный технический университет "Военмех"  
Кафедра "Средства поражения и боеприпасы"

*Е.Н. НИКУЛИН, Е.Н. СЕРГЕЕВ*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ОСКОЛОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ  
ОСКОЛОЧНО-ФУГАСНЫХ  
СНАРЯДОВ

Практическое пособие

Санкт-Петербург  
2007

УДК 623.451.011(075.8)

Н65

**Никулин, Е.Н.**

**Н65** Оценка эффективности осколочного действия осколочно-фугасных снарядов: практическое пособие / Е.Н. Никулин, Е.Н. Сергеев; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2007. – 32с.

Пособие содержит основные сведения, необходимые для работы с программой имитационного моделирования осколочного действия осколочно-фугасных снарядов, входящей в программное обеспечение САПР кафедры ЕЗ БГТУ. Рассматриваются принципы работы с интерфейсом программы, подробно описывается методика расчета ключевой величины при оценке осколочного действия боеприпасов – приведенной зоны осколочного поражения.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Средства поражения и боеприпасы», а также по смежным специальностям.

**УДК 623.451.011(075.8)**

Р е ц е н з е н т д-р техн. наук, проф. *В.И. Запорожец*

*Утверждено  
редакционно-издательским  
советом университета*

© БГТУ, 2007  
© Авторы, 2007



## ВВЕДЕНИЕ

Для борьбы с живой силой и легкобронированной техникой противника в составе артиллерийских систем широко применяются осколочно-фугасные снаряды (ОФС). По мере совершенствования и усложнения образцов техники, а также с применением новых материалов и механизмов защиты требования к ОФС постоянно возрастают. Это влечет за собой увеличение затрат на разработку, производство и испытания современных образцов вооружения.

Эффективность действия ОФС – важнейший аспект при проектировании новых снарядов и модернизации существующих образцов. Неизбежным этапом процесса проектирования является оценка целевого функционирования. Для поиска оптимальных конструкций ОФС и определения наиболее благоприятных условий обстрела цели эту оценку необходимо проводить на ранних этапах проектирования. Наиболее удобным и эффективным инструментом для этого является имитационное моделирование исследуемого процесса.

Эффективность осколочного действия ОФС оценивают по величине приведенной зоны осколочного поражения (ПЗОП), которая рассчитывается для наиболее вероятных целей и условий разрыва боеприпаса. Чем больше ПЗОП, тем выше эффективность. При заданной цели и условиях разрыва ПЗОП зависит только от конструкции боеприпаса. Поэтому, зная методику ее расчета, можно производить как сравнительную оценку различных ОФС, так и оптимизацию конструкции боеприпасов по различным характеристикам.

Программный модуль «FrAction», разработанный на кафедре ЕЗ БГТУ, позволяет оценивать эффективность осколочного действия боеприпасов классической формы. В нем программно реализована классическая инженерная методика определения ПЗОП – главного критерия оценки эффективности осколочного действия ОФС.

Исходными данными для расчета являются характеристики снаряда, условия подрыва, параметры цели и условия вычислительного эксперимента (размеры расчетной области).

В разделе «Исходные данные» приведены справочные значения для некоторых из них.

Результатом расчета программного модуля «FrAction» является значение ПЗОП, а также интерактивная диаграмма изменения условной вероятности поражения цели в зависимости от координат  $X$  и  $Z$ . Описание интерфейса для работы с результатами расчета представлено в разделе "Работа с результатами".

Методика расчета подробно изложена в одноименном разделе.

### **Системные требования**

Программный модуль по оценке эффективности осколочного действия ОФС реализован в виде автономного flash-проектора. Для его корректной работы необходима операционная система Microsoft Windows версии 95/NT 4 и выше.

Минимальные значения тактовой частоты процессора и объема оперативной памяти не регламентированы, однако эти параметры сильно влияют на время расчета.

Минимальное разрешение экрана 800x600 пикселей.

Наличие мыши обязательно для работы с интерфейсом программы.

### **Установка и запуск**

Расчетный модуль, пользовательский интерфейс и средство просмотра результатов расчета объединены в один исполнимый файл – FrAction.exe. Для запуска программы необходимо скопировать на жесткий диск и запустить этот файл. Возможна также работа и напрямую с дискеты, CD или любого съемного носителя без копирования на жесткий диск.

### **Исходные данные**

Для ввода исходных данных служат специальные поля вводимого текста в главном окне программы (рис. 1). Слева для каждой из величин указаны ее название и единица измерения. При наведении указателя мыши на название величины в окно иллюстраций выводится поясняющий рисунок, а в поле комментариев добавляется краткая справочная информация о данной перемен-

ной. Ввод данных можно осуществлять в произвольном порядке, для перехода от одной переменной к другой пользоваться щелчком левой клавиши мыши или кнопкой клавиатуры *Tab*.

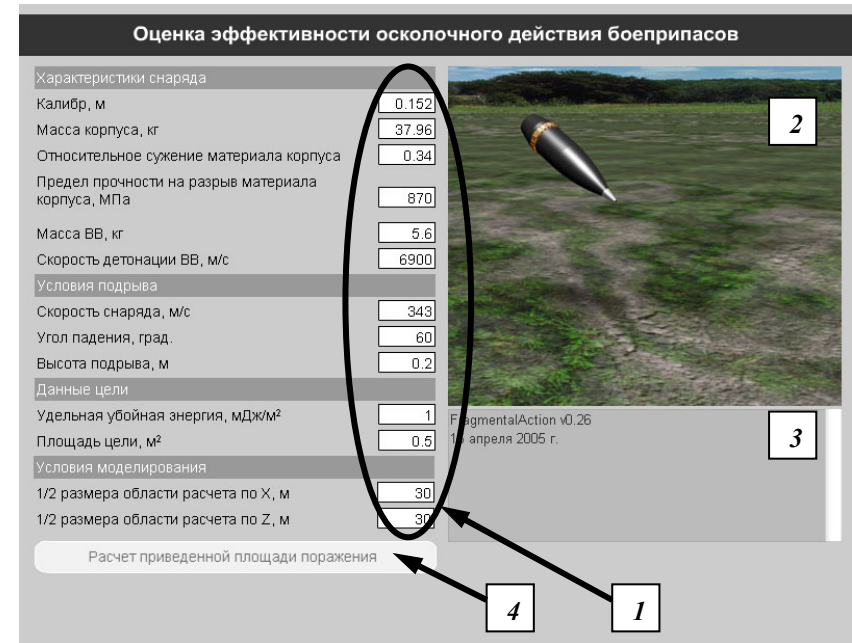


Рис. 1. Интерфейс программы при запуске: 1 – поля вводимого текста; 2 – окно иллюстраций; 3 – поле комментариев; 4 – кнопка начала расчета

В качестве разделителя в десятичных дробях при вводе исходных данных используется символ точки, а не запятой.

По окончании ввода можно начать расчет. Для этого нужно щелкнуть мышью по кнопке *Расчет приведенной площади поражения*.

В случае если введены некорректные данные, в поле комментариев появится сообщение о неверных значениях и расчет не начнется. Тогда необходимо исправить значения перечисленных величин и повторно нажать кнопку *Расчет приведенной площади поражения*.

Далее приводятся краткие описания величин исходных данных, с указанием единиц измерения и диапазонов, допустимых для ввода в программу значений.

### ***Характеристики величин исходных данных***

***Калибр*** ( $d$ ) – диаметр снаряда по центрующим утолщениям.

Единица измерения – м.

Диапазон допустимых значений – 0,02...0,5 м.

На сегодняшний день на вооружении состоят системы с ОФС следующих калибров: 0,023; 0,030; 0,057; 0,076; 0,100; 0,122; 0,125; 0,130; 0,152; 0,203; 0,210 м.

***Масса корпуса*** ( $M_k$ ) – осколкообразующая масса снаряда, равная общей массе снаряда за вычетом массы взрывчатого вещества.

Единица измерения – кг.

Диапазон допустимых значений – 1...1000 кг.

Данные для определения массы указываются на чертеже изделия.

***Относительное сужение материала корпуса*** ( $\psi$ ) – характеристика пластичности. Согласно ГОСТ 1497-84 «Методы испытаний на растяжение» относительное сужение после разрыва  $\psi$  вычисляют по формуле

$$\psi = (F_0 - F_x) / F_0,$$

где  $F_0$  – начальная площадь сечения образца;  $F_x$  – площадь сечения образца после разрыва.

Относительное сужение материала корпуса измеряется в долях.

Диапазон допустимых для ввода значений – 0,01...0,7.

Значение относительного сужения для конструкционных сталей зависит от их состава и термической обработки (табл.1).

***Предел прочности на разрыв материала корпуса*** ( $\sigma_b$ ).

Единица измерения – МПа.

Диапазон допустимых значений – 200...2000 МПа.

Значение предела прочности на разрыв для конструкционных сталей зависит от их состава и термической обработки (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

## Значения относительного сужения для различных марок стали

Марка	Термическая обработка	$\psi$
С-45	Без термической обработки после штамповки корпуса	0,3
С-45	Нормализация при температуре 840-850°C	0,4
С-45	Закалка 780-800°C., охлаждение в воде, отпуск 530-580 °C	0,45
С-55	Без термической обработки после штамповки корпуса	0,27-0,28
С-55	Нормализация при температуре 875°C	0,41-0,48
С-55	Закалка 780-800°C, охлаждение в воде, отпуск 600-680°C	0,45-0,50
С-60	Без термической обработки после штамповки корпуса	0,22
С-60	Нормализация при температуре 875°C	0,34
С-60	Закалка 780-800°C, охлаждение в воде, отпуск 600-680°C	0,42
С-65	Без термической обработки после штамповки корпуса	0,20-0,31
С-65	Нормализация при температуре 875°C	0,13-0,40
С-65	Закалка 780-800°C, охлаждение в воде, отпуск 600-680°C	0,38-0,50
С-70	Без термической обработки после штамповки корпуса	0,15
С-70	Нормализация при температуре 875°C	0,13-0,40
45Х12	Без термической обработки после штамповки	0,3
45Х12	Нормализация при температуре 850-875°C	0,45
45Х12	Закалка 820-860°C, охлаждение в масле, отпуск 200-250°C	0,15
45Х12	Закалка 820-860°C, охлаждение в масле, отпуск 600-650°C	0,50
35ХГСА	Нормализация при температуре 950°C	0,45
35ХГСА	закалка 900°C, охлаждение в масле, отпуск 200°C	0,35
ХЗНМ-1	Нормализация при температуре 950°C	0,45
ХЗНМ-2	Закалка 900°C, охлаждение в масле, отпуск 190°C	0,35
ХЗНМ-2	Закалка 900°C, охлаждение в масле, отпуск 670°C	0,60
Сталистый чугун	–	0,05

Т а б л и ц а 2

## Значения предела прочности на разрыв для различных марок стали

Марка	Термическая обработка	$\sigma_b$ , МПа
С-45	Без термической обработки после штамповки корпуса	589
С-45	Нормализация при температуре 840-850°C	589-687
С-45	Закалка 780-800°C., охлаждение в воде, отпуск 530-580 °C	736
С-55	Без термической обработки после штамповки корпуса	687-765
С-55	Нормализация при температуре 875°C	648-736
С-55	Закалка 780-800°C, охлаждение в воде, отпуск 600-680°C	785-942
С-60	Без термической обработки после штамповки корпуса	687-834
С-60	Нормализация при температуре 875°C	706-863
С-60	Закалка 780-800°C, охлаждение в воде, отпуск 600-680°C	765-883
С-65	Без термической обработки после штамповки корпуса	755-834
С-65	Нормализация при температуре 875°C	726-795
С-65	Закалка 780-800°C, охлаждение в воде, отпуск 600-680°C	932-961
С-70	Без термической обработки после штамповки корпуса	785-932
С-70	Нормализация при температуре 875°C	834-952
45Х12	Без термической обработки после штамповки	687-785
45Х12	Нормализация при температуре 850-875°C	785
45Х12	Закалка 820-860°C, охлаждение в масле, отпуск 200-250°C	1570-1766
45Х12	Закалка 820-860°C, охлаждение в масле, отпуск 600-650°C	834-932
35ХГСА	Нормализация при температуре 950°C	736
35ХГСА	Закалка 900°C, охлаждение в масле, отпуск 200°C	1717
ХЗНМ-1	Нормализация при температуре 950°C	736
ХЗНМ-2	Закалка 900°C, охлаждение в масле, отпуск 190°C	1717
ХЗНМ-2	Закалка 900°C, охлаждение в масле, отпуск 670°C	1079
Сталистый чугун	–	298

**Масса взрывчатого вещества ( $m_v$ )** – суммарная масса основного заряда, дополнительного детонатора и заряда переходной втулки (если они есть). Обычно указывается на чертеже изделия.

Единица измерения – кг.

Диапазон допустимых значений – 0,001...250 кг.

**Скорость детонации взрывчатого вещества ( $\check{D}$ )** характеризует дробящее действие взрывчатого вещества.

Единица измерения – м/с.

Диапазон допустимых значений – 3500...12000 м/с.

Значения скорости детонации для различных взрывчатых веществ: ТНТ 6900 м/с; А-IX-2 7900-8100 м/с; А-IX-20 8180 м/с; гектол 20Т 8050 м/с; октол 20 8260-8300 м/с; Н 9100 м/с; НФ-5 8750 м/с; НА-20 8500 м/с; октол 8700 м/с; тритонал 6700 м/с; торпекс 7500 м/с; DBX 6600 м/с; В 7800 м/с.

**Скорость снаряда в точке подрыва ( $v_{сн}$ )**.

Единица измерения – м/с.

Диапазон допустимых значений – 0...2000 м/с.

Данная величина определяется по таблицам стрельбы для существующих образцов или, в случае проектирования образца, – из расчета внешней баллистики изделия.

**Угол падения ( $\Theta$ )** – угол между вектором скорости снаряда в точке подрыва и его проекцией на горизонтальную плоскость.

Единица измерения – градусы.

Диапазон допустимых значений – 0...90 град.

Угол падения определяется по таблицам стрельбы для существующих образцов или, в случае проектирования образца, – из расчета внешней баллистики изделия.

**Высота подрыва ( $Y$ )** – высота центра масс снаряда над горизонтальной поверхностью в момент подрыва.

Единица измерения – м.

Диапазон допустимых значений - 0...100 м.

**Удельная убойная энергия ( $E_{уд. уб}$ )** – характеристика защищенности цели.

Единица измерения – мДж/м<sup>2</sup>.

Диапазон допустимых значений – 0,5...60 мДж/м<sup>2</sup>.

Приняты следующие значения удельной убойной энергии:

- для открытой живой силы 1 мДж/м<sup>2</sup>,
- для живой силы в бронежилете 7,5 мДж/м<sup>2</sup>,
- для небронированной техники 13,5 мДж/м<sup>2</sup>,
- для легкобронированной техники 35-50 мДж/м<sup>2</sup>.

Для бронетехники приблизительно можно определять  $E_{уд.уб}$  по формуле

$$E_{уд.уб} = 3 N, \text{ мДж/м}^2,$$

где  $N$  – толщина брони стального эквивалента, мм.

**Уязвимая площадь цели ( $S_{ц}$ )** определяется как среднее значение площадей проекций уязвимых элементов цели.

Единица измерения –  $\text{м}^2$ .

Диапазон допустимых значений –  $0,1 \dots 5 \text{ м}^2$ .

Для живой силы уязвимая площадь цели равна:

- в положении стоя  $0,5 \text{ м}^2$ ,
- в положении стрельбы с колена  $0,35 \text{ м}^2$ ,
- в положении лежа  $0,23 \text{ м}^2$ .

Для бронетехники определяется геометрически и находится в диапазоне  $1-2 \text{ м}^2$ .

**Половина размера расчетной области в направлении оси X**

– половина размера расчетной области по глубине.

Единица измерения – м.

Диапазон допустимых значений –  $1 \dots 100 \text{ м}$ .

**Половина размера расчетной области в направлении оси Z**

– половина размера расчетной области по фронту.

Единица измерения – м.

Диапазон допустимых значений –  $1 \dots 100 \text{ м}$ .

На рис. 2 показано изменение величины рассчитанной приведенной площади поражения от половины размера расчетной области при фиксированных остальных величинах исходных данных (рассматривался снаряд ОФ540).

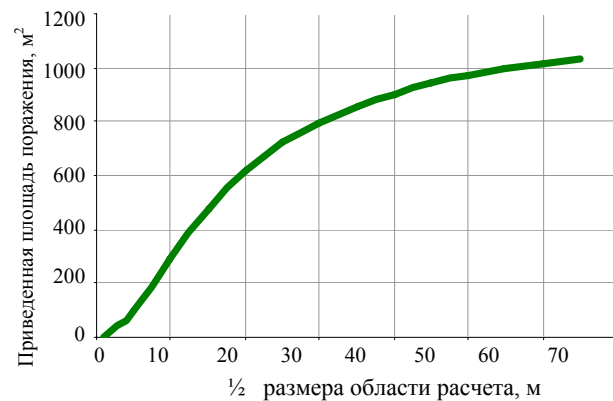


Рис. 2. Зависимость величины приведенной площади поражения от размера расчетной области

Размер расчетной зоны рекомендуется выбирать таким образом, чтобы на ее границах вероятность поражения имела значения менее 5%. Примеры различных размеров расчетной области приведены на рис. 3.

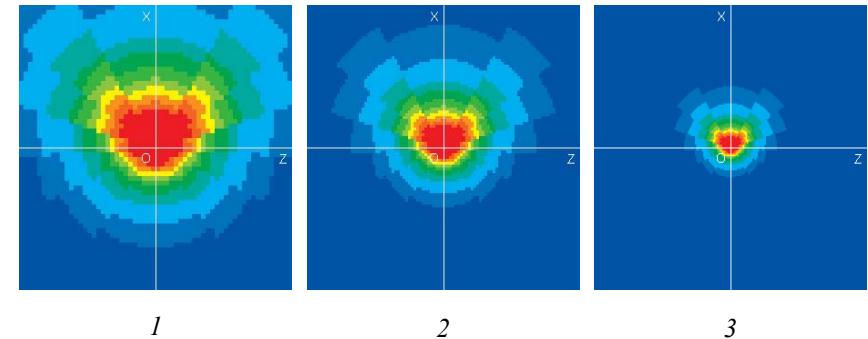


Рис. 3. Размеры расчетной области: 1 – недостаточный размер; 2 – рекомендуемый размер; 3 – избыточный размер

В случае слишком малого размера расчетной области получается быстрый расчет, который, однако, дает сильно заниженное значение приведенной зоны поражения. Слишком большая область расчета сильно увеличивает время расчета и при этом дает незначительный прирост величины приведенной зоны поражения (зона насыщения кривой на рис. 2). Незначительный прирост обусловлен тем, что в разработанной программе учитывается любая сколь угодно малая ненулевая вероятность поражения цели, в то время как многие методики имеют порог отсечки по величине вероятности, например не учитываются площадки с величиной  $P < 1\%$  или  $P < 5\%$ .

В большинстве случаев размеры расчетной области по ширине и по фронту задаются равными (квадратная расчетная область), однако в случае когда диаграмма имеет ярко выраженный вытянутый характер, целесообразно задавать разные величины ее размеров по ширине и фронту (прямоугольная область), так как это позволит ускорить расчет, что особенно важно для маломощных компьютеров. Примеры приведены на рис. 4.

Важно понимать, что элементарные площадки сохраняют свою квадратную форму 1x1 м. Растянutosть диаграммы возни-

кает за счет того, что прямоугольник расчетной области на иллюстрации неравномерно масштабируется и вписывается в квадрат (только на диаграмме).

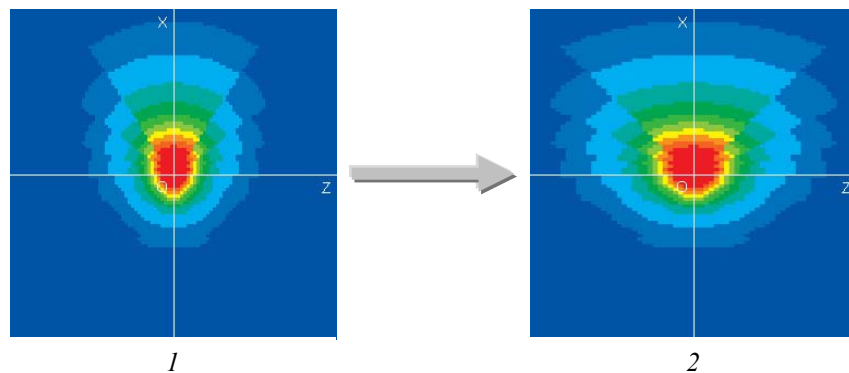


Рис. 4. Различная форма расчетной области: 1 – квадратная область расчета 100x100 м; 2 – прямоугольная область расчета 64x100 м

### Расчет

Для начала расчета щелкните мышью по кнопке *Расчет приведенной площади поражения*. Если введены некорректные данные, в поле комментариев появится сообщение о неверных значениях и расчет не начнется. Тогда необходимо исправить значение величин и повторно нажать ту же кнопку. Во время расчета в поле комментариев отобразится сообщение:

*"Идет расчет. Процесс может занять длительное время".*

Время расчета напрямую зависит от производительности Вашего компьютера и размера расчетной области. В случае длительного расчета на экран выводится диалоговое окно с сообщением:

*"A script in this movie is causing Macromedia Flash Player 7 to run slowly. If it continues to run, your computer may become unresponsive. Do you want to abort the script?"*

Если Вы не намерены прерывать работу расчетной программы, нажмите *Нет* и ждите окончания счета и вывода результатов.

По окончании расчета на экран выводятся результаты. О работе с результатами см. следующий раздел.

## Работа с результатами

По завершении расчета на монитор выводится окно с результатами (рис. 5). В левой части окна в текстовом виде представлены результаты расчета и исходные данные по нему (1). Под полем результатов находятся кнопки для распечатки результатов (2) и для возврата к исходным данным (3). В правой части отображается интерактивная диаграмма (4) рассчитанной зависимости  $P=f(X,Z)$ .

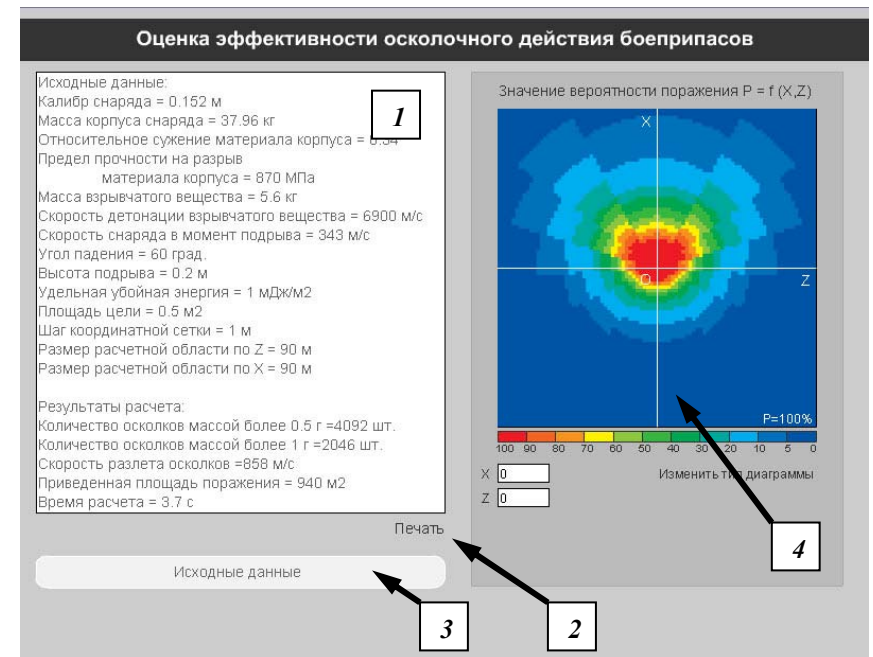


Рис. 5. Окно результатов расчета: 1 – поле результатов и исходных данных; 2 – кнопка отправки результатов на печать; 3 – кнопка возврата в режим ввода исходных данных; 4 – интерактивная диаграмма зависимости  $P=f(X,Z)$

В случае когда необходимо распечатать результаты расчета, нажмите на кнопку *Печать*, расположенную под правым нижним углом текстового поля с результатами. На экране отобразится окно настройки печати и выбора принтера. Для корректировки исходных данных и начала нового расчета пользуйтесь кнопкой *Исходные данные*.

Расположенная в правой части окна интерактивная диаграмма позволяет определять величину рассчитанной вероятности поражения для любой точки, принадлежащей расчетной области. Для того чтобы узнать вероятность в какой-либо точке, необходимо навести курсор мыши на иллюстрацию. При этом в правом нижнем углу диаграммы отразится значение вероятности в точке, над которой расположен курсор, а в полях координат  $X$  и  $Z$  под диаграммой появятся координаты этой точки. Возможен и обратный подход: в поля координат  $X$  и  $Z$  можно занести интересные Вас значения координат.

Для наглядности в программном модуле реализовано два типа диаграммы, показанные на рис. 6. Переключение между ними осуществляется кнопкой *Изменить тип диаграммы*.

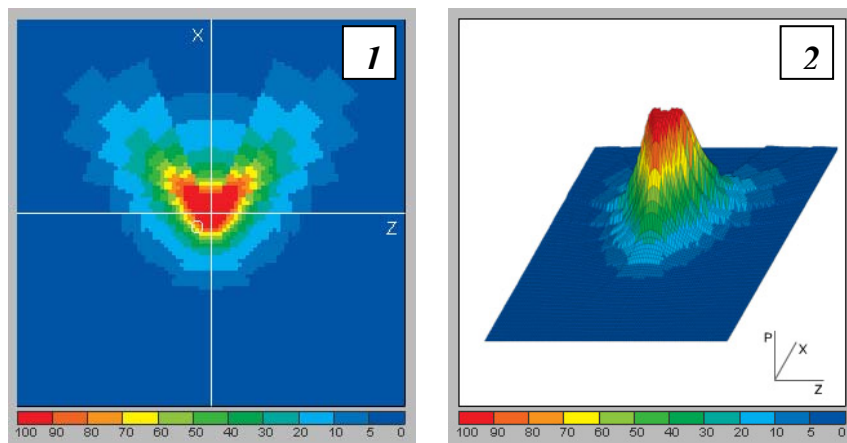


Рис. 6. Типы отображения зависимости  $P=f(X,Z)$ : 1 – двумерная диаграмма, величина  $P$  отображается только цветом; 2 – трехмерная диаграмма, величина  $P$  отображается цветом и возвышением над плоскостью  $Oxz$

### Методика расчета

Условно алгоритм определения ПЗОП можно разбить на следующие этапы.

1. Выбор системы координат с началом в точке разрыва боеприпаса. Разбиение расчетной области в пределах разлета осколков на элементарные площадки симметрично относительно точки разрыва и определение координат центра каждой площадки.

2. Определение средней вероятности поражения рассматриваемой цели в пределах каждой элементарной площадки.

3. Определение ПЗОП путем суммирования произведений вероятности поражения на площадь элементарной площадки.

Разбиение расчетной области на элементарные площадки производится с шагом равным 1 м. Для каждой элементарной площадки точкой расчета является ее центр. Величина расчетной области задается в исходных данных значениями 0,5 ее размера по глубине и 0,5 по фронту.

Основной этап расчета ПЗОП – определение средней вероятности поражения рассматриваемой цели для каждой элементарной площадки. Алгоритм решения этой задачи приведен на рис. 7.



Рис. 7. Определение средней вероятности поражения рассматриваемой цели для конкретной элементарной площадки

### ***Определение общего количества осколков, образующихся при подрыве боеприпаса***

При подрыве типовых ОФС общее число образующихся осколков можно определять по методике АНИИ:

$$N_{\geq 1} = \beta \frac{1000 \cdot m_b}{r_{cp}} \cdot \frac{B}{\sqrt{\sigma_b/9.81}},$$

где  $N_{\geq 1}$  – число осколков с массой 1 г и более;  $\beta$  – опытный коэффициент, зависящий от свойств взрывчатого вещества (табл. 3);  $m_b$  – масса взрывчатого вещества в снаряде, кг;  $B$  – коэффициент, зависящий от конструкции снаряда, определяется по табл. 4. Входом в таблицу являются коэффициент  $k$  и относительное сужение материала корпуса снаряда  $\psi$ . Коэффициент  $k$  определяется для корпусов из сталистого чугуна – по табл. 5, для стальных корпусов – по табл. 6. Входом в эти таблицы являются следующие конструктивные характеристики снаряда:

- отношение массы корпуса к кубу калибра

$$C_m = M_k / (1000 \cdot d^3), \text{ кг/м}^3;$$

- отношение массы заряда взрывчатого вещества к массе корпуса снаряда  $\eta = m_b / M_k$ ;

- средний радиус камеры корпуса снаряда

$$r_{cp} = d/2k, \text{ м};$$

$\sigma_b$  – предел прочности материала корпуса снаряда на разрыв, МПа (значения для наиболее распространенных материалов приведены в разделе «Характеристики величин исходных данных»).

Если необходимо учитывать осколки с массой более 0,5 г,  $N$  следует определять по зависимостям: для стальных корпусов –  $N_{\geq 0,5} = 1,4N_{\geq 1}$ , для корпусов из сталистого чугуна –  $N_{\geq 0,5} = 2 \cdot N_{\geq 1}$ .

Т а б л и ц а 3

**Значение коэффициента  $\beta$  для различных взрывчатых веществ**

Название ВВ	Скорость детонации $D$ , м/с	$\beta$
Нитроглицерин	7580	0,67
Пикриновая кислота	7254	0,63
Тротил	6800	0,58
Динитробензол	6100	0,50
Аммотол	5300	0,45

Примечание. Для неуказанных ВВ коэффициент  $\beta$  можно приближенно определить интерполяцией по скорости детонации.

Т а б л и ц а 4

Значение величины  $B$ 

$\psi$	$k$						
	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40
0,06	0,155	0,224	0,278	0,324	0,363	0,397	0,427
0,05	0,167	0,241	0,297	0,344	0,384	0,418	0,448
0,04	0,187	0,266	0,326	0,375	0,416	0,450	0,481
0,03	0,215	0,301	0,366	0,415	0,457	0,492	0,552
0,02	0,243	0,338	0,405	0,457	0,500	0,534	0,565
0,01	0,272	0,372	0,442	0,496	0,539	0,573	0,603
0,00	0,302	0,408	0,480	0,535	0,577	0,612	0,642

Т а б л и ц а 5

Значение коэффициента  $k$  для корпусов из сталистого чугуна

$C_m$	$\eta$									
	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21
10,0	2,40	2,02	1,81	1,68	1,59	1,53	1,47	1,43	1,39	1,36
11,0	2,44	2,04	1,82	1,69	1,60	1,54	1,47	1,43	1,40	1,37
12,0	2,48	2,05	1,84	1,71	1,61	1,54	1,48	1,44	1,40	1,37
13,0	2,51	2,07	1,85	1,72	1,62	1,55	1,49	1,45	1,41	1,38
14,0	2,53	2,08	1,86	1,73	1,63	1,55	1,49	1,45	1,41	1,39
15,0	2,55	2,09	1,87	1,73	1,64	1,56	1,50	1,46	1,42	1,39
16,0	2,57	2,10	1,88	1,74	1,64	1,56	1,50	1,46	1,42	1,39

Значение коэффициента  $k$  для стальных корпусов

$C_m$	$\eta$																
	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35
4,0	1,77	1,60	1,52	1,46	1,41	1,37	1,34	1,32	1,30	1,28	1,26	1,25	1,23	1,22	1,21	1,20	1,19
5,0	1,92	1,68	1,58	1,51	1,46	1,41	1,37	1,34	1,32	1,30	1,28	1,26	1,24	1,23	1,22	1,21	1,20
6,0	2,04	1,74	1,63	1,55	1,49	1,45	1,40	1,36	1,33	1,31	1,29	1,27	1,25	1,24	1,23	1,22	1,21
7,0	2,13	1,79	1,66	1,58	1,51	1,46	1,41	1,37	1,34	1,31	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22
8,0	2,20	1,87	1,71	1,60	1,52	1,47	1,42	1,39	1,35	1,32	1,30	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22
9,0	2,25	1,90	1,73	1,62	1,54	1,48	1,43	1,39	1,36	1,33	1,30	1,28	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22
10,0	2,30	1,92	1,75	1,63	1,55	1,49	1,44	1,40	1,37	1,34	1,31	1,28	1,28	1,26	1,24	1,23	1,22
11,0	2,34	1,95	1,77	1,66	1,56	1,50	1,45	1,41	1,37	1,34	1,31	1,29	1,28	1,26	1,24	1,23	1,22
12,0	2,37	1,97	1,78	1,66	1,57	1,51	1,46	1,42	1,38	1,35	1,32	1,29	1,28	1,27	1,25	1,24	1,23
13,0	2,40	1,99	1,80	1,67	1,58	1,51	1,46	1,43	1,38	1,35	1,32	1,30	1,29	1,27	1,25	1,24	1,23
14,0	2,43	2,01	1,81	1,68	1,59	1,52	1,47	1,43	1,38	1,36	1,33	1,31	1,29	1,27	1,25	1,24	1,23
15,0	2,45	2,02	1,82	1,69	1,59	1,52	1,47	1,43	1,39	1,36	1,33	1,31	1,29	1,27	1,25	1,24	1,23
16,0	2,47	2,04	1,83	1,69	1,59	1,52	1,47	1,44	1,39	1,36	1,34	1,32	1,30	1,28	1,26	1,25	1,24
17,0	2,48	2,06	1,83	1,69	1,60	1,53	1,48	1,44	1,39	1,37	1,34	1,32	1,30	1,28	1,26	1,25	1,24
18,0	2,50	2,07	1,84	1,70	1,61	1,53	1,48	1,44	1,40	1,37	1,34	1,32	1,30	1,26	1,26	1,25	1,24
19,0	2,51	2,08	1,85	1,70	1,61	1,53	1,48	1,44	1,40	1,37	1,35	1,33	1,31	1,29	1,26	1,25	1,24
20,0	2,53	2,09	1,85	1,70	1,62	1,54	1,49	1,55	1,40	1,38	1,35	1,33	1,31	1,29	1,26	1,25	1,24
21,0	2,54	2,09	1,85	1,71	1,62	1,54	1,49	1,55	1,41	1,38	1,35	1,33	1,31	1,29	1,26	1,25	1,24

Если в конструкции боеприпаса предусмотрено заданное дробление на осколки определенной массы и формы, то расчет ведется по их количеству, но при этом необходимо предусмотреть возможность образования двойных и тройных осколков. Последнее обстоятельство учитывается коэффициентами, полученными экспериментально.

После расчета общего числа осколков массой более 1 г определяются следующие характеристики их движения: скорость разлета, начальная скорость (геометрическая сумма векторов скорости разлета осколков и скорости снаряда в момент подрыва), скорость встречи с целью с учетом ее падения на траектории движения осколков.

#### ***Определение скорости разлета, начальной скорости и скорости встречи осколков с целью***

Скоростью разлета называют скорость, которую осколки получают от воздействия продуктов взрыва взрывчатого вещества (ВВ). Эта скорость обычно считается одинаковой для всех осколков независимо от места их образования и массы. Основанием для такого допущения является то, что основную скорость от продуктов детонации корпус получает еще до разрушения на осколки. Расчётную зависимость для определения скорости разлёта осколков можно получить из уравнения баланса энергии:

$$m_b Q_v = E_o + E_b + E_k + E_n, \quad (1)$$

где слева – энергия, выделившаяся при детонации ВВ;  $E_o$ ,  $E_b$ ,  $E_k$ ,  $E_n$  – энергия осколков, продуктов взрыва, энергия, израсходованная на деформацию и разрушение корпуса боеприпаса и потери энергии, соответственно;  $m_b$  – масса взрывчатого вещества;  $Q_v$  – теплота образования ВВ (энергия, выделяемая при взрыве единицы массы ВВ).

$$E_o = M_k v_p^2 / 2; \quad E_b = m_b v_p^2 / 4;$$

$M_k$  – масса корпуса;  $v_p$  – скорость разлета; цифра 4 в знаменателе означает, что скорость продуктов детонации вдоль радиуса изменяется от нуля на оси симметрии снаряда до  $v_p$  – у внутренней поверхности корпуса. Считая изменение скорости линейным, берем среднее арифметическое значение энергии:

$$0,5(0 + m_b v_p^2 / 2); \quad E_k + E_n = 0,1 m_b Q_v;$$

Выражаем энергию взрыва через скорость детонации и вводим коэффициент наполнения:

$$Q_v = D^2/16; \quad \alpha = m_b / (M_k + m_b).$$

Подставляя в (1) значения энергий, выражения для  $Q_v$  и решая его относительно  $v_p$ , получаем расчетную формулу для определения скорости разлета осколков:

$$v_p = 0,5D \left[ \frac{0,9\alpha}{(2-\alpha)} \right]^{0,5} \text{ м/с,}$$

$D$  – скорость детонации ВВ, м/с.

Начальная скорость осколков  $v_0$  рассматривается как абсолютная скорость, полученная в результате сложения относительной скорости осколков  $v_p$  и скорости снаряда в момент разрыва  $v_c$  (рис. 8).

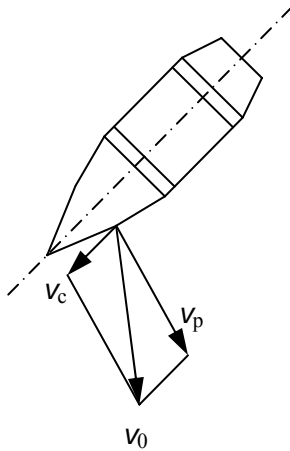


Рис. 8. Схема определения начальной скорости осколков

Таким образом, начальную скорость определяем как

$$v_0 = (v_c^2 + v_p^2 + 2 v_c v_p \cos\varphi)^{0,5} \text{ м/с.}$$

Здесь скорость снаряда в момент разрыва  $v_p$  определяется по таблицам стрельбы для данного боеприпаса.

Под скоростью встречи понимают скорость осколков в момент встречи с целью. При полете осколки теряют свою скорость в соответствии с законом

$$m \frac{dv}{dt} = -c_x S_{cp} \frac{\rho v^2}{2} \quad (2)$$

где  $m$  – масса осколка;  $v$  – скорость осколка;  $c_x$  – аэродинамический коэффициент лобового сопротивления;  $\rho$  – плотность воздуха;  $S_{cp}$  – средняя площадь поперечного сечения осколка. Если известны размеры осколка, то

$$S_{cp} = (ab + ac + bc)/2,$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – размеры осколка, приведенного к прямоугольному параллелепипеду. Если же размеры осколка неизвестны, то  $S_{cp}$  определяется через массу осколка:

$$S_{cp} = \Phi m^{2/3},$$

где  $\Phi$  – коэффициент формы осколков (для стальных осколков  $\Phi = 0,005 \text{ м}^2/\text{кг}$ ).

Решая (2) относительно  $v = v_p$  при  $X = R$ , получаем

$$v_p = v_0 \exp\left(-\frac{c_x \rho S_{cp} R}{2m}\right) \text{ м/с.} \quad (3)$$

### ***Распределение осколков в области разлета***

Представление о распределении осколков в области разлета получают из статистических данных полигонных испытаний. При этом предполагается, что боеприпас – это материальная точка, от которой осколки разлетаются по прямолинейным траекториям. Последнее допущение обосновывается тем, что нас интересует только та часть траектории, на которой осколок остается эффективным. Для снарядов классической формы в экваториальных плоскостях области разлета осколки распределяются симметрично относительно продольной оси снаряда, в меридиональных плоскостях – несимметрично. Вся область разлета осколков условно делится на 19 конусов (рис. 9).

Экспериментально установлено, какая доля осколков от их общего количества летит между каждой парой конических поверхностей. Средние статистические данные о распределении осколков в области разлета для снарядов классической формы приведены в табл. 7.

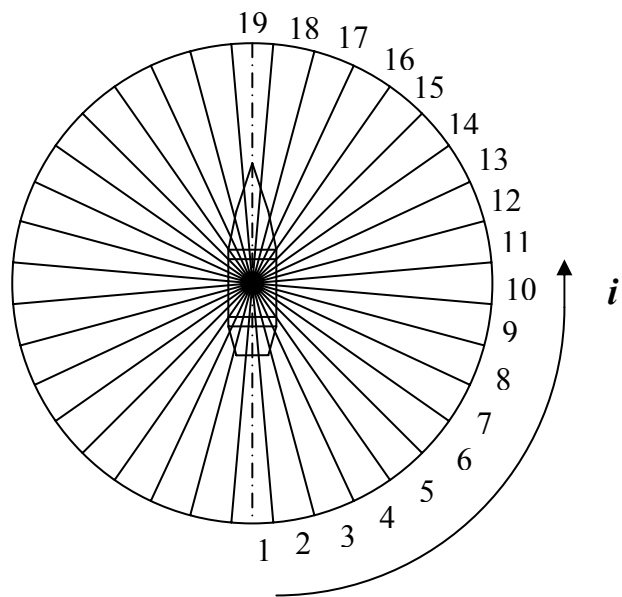


Рис. 9. Шаровые пояса разлета осколков

Т а б л и ц а 7

Распределение осколков в области разлета при  $v_0 = 0$

Номер конуса	$\varphi_i - \varphi_{i+1}$	$k_\varphi$	
		Корпус стальной	Корпус из стали- стого чугуна
1	2	3	4
1	0-5	-	-
2	5-15	-	-
3	15-25	0,01	0,01
4	25-35	0,01	0,01
5	35-45	0,02	0,01
6	45-55	0,03	0,02
7	55-65	0,04	0,02
8	65-75	0,06	0,03
9	75-85	0,16	0,16
10	85-95	0,24	0,38

Окончание табл. 7

1	2	3	4
11	95-105	0,18	0,22
12	105-115	0,09	0,03
13	115-125	0,05	0,02
14	125-135	0,06	0,02
15	135-145	0,02	0,02
16	145-155	0,02	0,02
17	155-165	0,02	0,02
18	165-175	0,01	0,01
19	175-180	0,01	0,01

При приближенных расчетах область разлета осколков можно делить не на 19, а на три шаровых пояса (табл. 8).

Т а б л и ц а 8

**Приближенное распределение осколков по трем шаровым поясам**

$\varphi_i - \varphi_{i+1}$	0-45°	45-135°	135-180°
$k_\varphi$	0,04	0,88	0,08

Для определения плотности осколков в районе цели необходимо определить, какой из шаровых поясов покрывает цель (рассматриваемую элементарную площадку), затем рассчитать плотность эффективных осколков в этом шаровом поясе, т.е. в районе цели.

Первая часть задачи носит чисто геометрический характер, и ее решение зависит от положения снаряда относительно цели в момент разрыва. В результате решения должны быть определены следующие углы (рис. 10):

- угол между вектором скорости снаряда и направлением на цель от точки разрыва  $\varphi_1$ ;
- угол между направлением на цель и вектором скорости разлета осколков (поправочный угол на скорость снаряда  $\varphi_2$ );
- угол между вектором скорости снаряда и вектором скорости разлета осколков  $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$ .

Именно по последнему суммарному углу и определяется коэффициент  $k_\varphi$  (см. табл. 7). Таким образом учитывается смещение шаровых поясов под влиянием скорости снаряда во время подрыва.

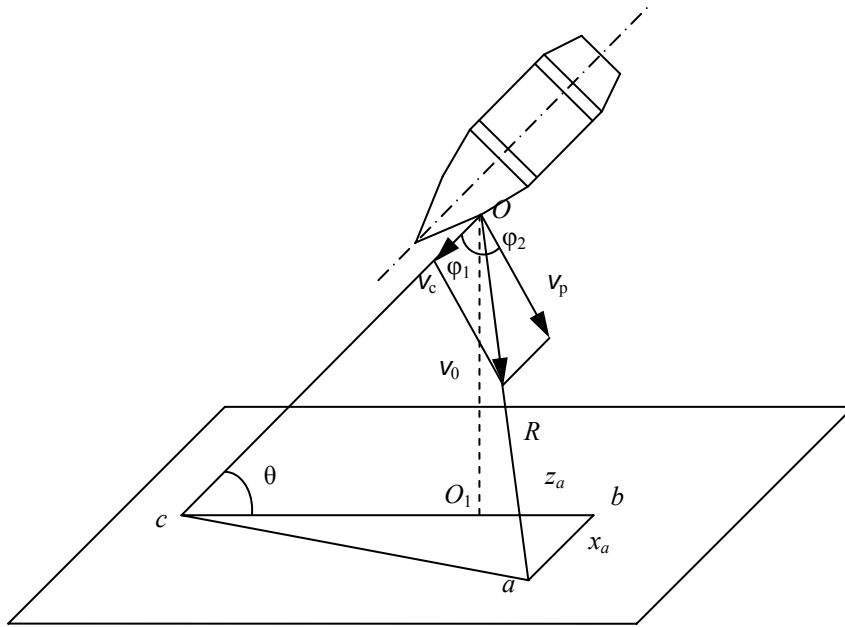


Рис. 10. Расчетная схема:  $a$  – центр элементарной площадки;  $O$  – точка разрыва боеприпаса;  $R$  – расстояние, которое преодолевают осколки до встречи с целью;  $\theta$  – угол падения снаряда;  $x_a$  – координата  $x$  точки расположения цели;  $z_a$  – координата  $z$  точки расположения цели

Средняя плотность осколков, пролетающих через шаровой пояс, равна:

$$\Delta = N k_\varphi / S_{\text{шп}}, \quad (4)$$

где  $N$  – общее число осколков,  $k_\varphi$  – доля осколков в данном поясе,  $S_{\text{шп}}$  – площадь поверхности шарового пояса. С учетом того, что площадь конической поверхности любого шарового пояса равна:

$$S_{\text{шп}} = 2\pi R^2 (\cos \varphi_i - \cos \varphi_{i+1}),$$

получаем расчетную зависимость для определения плотности осколков в районе цели:

$$\Delta = \frac{Nk_{\phi}}{2\pi R^2(\cos \varphi_i - \cos \varphi_{i+1})}$$

### *Распределение осколков по массе*

Осколки, образующиеся при подрыве боеприпаса, имеют различную массу. Поскольку масса осколков влияет на их поражающую способность, ее необходимо учитывать при определении вероятности поражения цели. Закон распределения осколков по массе обычно записывается в виде

$$N_{\geq m} = k_m N,$$

где  $N_{\geq m}$  – число осколков с массой  $m$  и больше;  $k_m$  – доля указанных осколков в их общем количестве. В табл. 9 даны экспериментальные значения для коэффициента  $k_m$  в зависимости от массы осколка.

Т а б л и ц а 9

#### Экспериментальное распределение осколков по массе

Масса, г	$k_m$	Масса, г	$k_m$	Масса, г	$k_m$	Масса, г	$k_m$
0,5	1,000	5	0,425	12	0,184	30	0,058
1	0,817	6	0,388	14	0,158	50	0,021
2	0,643	7	0,355	16	0,139	75	0,008
3	0,540	8	0,327	18	0,121	100	0,002
4	0,471	10	0,218	20	0,106	–	–

По данным статистической обработки результатов испытаний для осколков массой 1 г и более справедлива зависимость

$$k_m = 0,75(m+0,5)^{-a \ln(m+0,5)},$$

для стальных корпусов  $a = 25/d - 0,0003d + \alpha/2 - 0,013$ ;

для корпусов из сталистого чугуна  $a = 25/d - 0,0003d + \alpha/2 - 0,665$ .

Здесь  $d$  – калибр, мм;  $m$  – масса осколка, г;  $\alpha$  – коэффициент наполнения в долях.

Для осколков от 0,5 до 1 г  $k_m$  следует определять по формуле

$$k_m = k_{m-1} + (1 - k_{m-1}) \cdot (1 - m).$$

### ***Определение общего количества осколков, способных поразить цель***

Способность осколков поражать цель оценивается вероятностью поражения цели при попадании в нее осколка. Осколки, обладая различной массой и скоростью, имеют различную вероятность поражения цели в диапазоне от нуля до единицы. Таким образом, вероятность поражения цели зависит от энергетических характеристик осколков, которые можно учесть удельной энергией осколка – кинетической энергией, отнесенной к средней площади его поперечного сечения:

$$E_{уд} = \frac{mV_B^2}{2S_{cp}}.$$

Задача сводится к определению зависимости между  $E_{уд}$  и вероятностью поражения. Сложность этой взаимосвязи зависит от характера цели. Наиболее простым является случай, когда можно использовать ступенчатый закон поражения. Ранее было сказано, что уязвимость элементарных целей оценивается удельной убойной энергией – наименьшей удельной энергией, которой должен обладать осколок для поражения цели. При ступенчатом законе поражения

$$E_{уд} \geq E_{уд.уб} P_1 = 1, \quad E_{уд} < E_{уд.уб} P_1 = 0.$$

Таким образом, все осколки можно разделить на две группы: эффективные и неэффективные (убойные и неубойные).

Количество эффективных осколков можно определить из условия  $E_{уд} \geq E_{уд.уб}$  или подставляя выражения для  $E_{уд}$  и используя зависимость для скорости встречи осколка с целью:

$$\frac{m}{2S_{cp}} \nabla_0^2 \exp\left(-\frac{c_x \rho S_{cp} R}{m}\right) \geq E_{уд.уб}.$$

Анализ данного уравнения показывает, что его левая часть однозначно зависит от массы осколка: чем больше масса, тем больше левая часть. Следовательно, можно определить наименьшую массу осколка, при которой возможно поражение заданной цели, и общее количество эффективных осколков, к которым будут относиться все осколки данной минимальной массы и больше. Обозначим эту минимальную массу  $m$ . Учитывая, что масса осколков и их средняя площадь поперечного сечения связаны зависимостью

$$S_{\text{ср}} = \Phi m^{2/3}, \quad (5)$$

где  $\Phi$  – коэффициент формы осколков (для стальных осколков  $\Phi = 0,005 \text{ м}^2/\text{кг}$ ), условие (5) можно записать в виде

$$\frac{m^{1/3}}{2\Phi} v_0^2 \exp\left(-\frac{c_x \rho \Phi R}{m^{1/3}}\right) \geq E_{\text{уд.уб}} \quad (6)$$

***Плотность осколков, способных поразить цель в пределах заданной элементарной площадки***

Решая уравнение (6), можно определить  $m$ , затем найти общее количество эффективных осколков для данной элементарной площадки:

$$N_{\text{уб}} = k_m \cdot N.$$

***Вероятность поражения цели в заданной элементарной площадке***

Вероятность попадания осколка в цель можно определить, используя распределение Пуассона, которому соответствует рассматриваемый случай:

$$P_{\text{п}} = \frac{a^n}{n!} e^{-a}, \quad (7)$$

где  $P_{\text{п}}$  – вероятность попадания в цель  $n$  осколков;  $a$  – математическое ожидание случайной величины – числа осколков, попадающих на уязвимую площадь цели. Используя зависимость (7) и свойство противоположных событий при  $n = 0$ , можно записать вероятность попадания в цель хотя бы одного осколка:

$$P_{\geq 1} = 1 - P_0 = 1 - e^{-a},$$

где  $P_0$  – вероятность того, что в цель не попадет ни одного осколка.

Теперь перейдем от вероятности попадания к вероятности поражения. Для этого представим математическое ожидание  $a$  в виде

$$a = \Delta S_{ц} P_1,$$

где  $\Delta$  – плотность осколков в районе цели;  $S_{ц}$  – уязвимая площадь цели;  $P_1$  – вероятность поражения цели при попадании одного осколка. Тогда вероятность поражения цели хотя бы одним осколком будет равна:

$$P_{\geq 1} = 1 - e^{-\Delta S_{ц} P_1}.$$

При ступенчатом заколе принимаем  $\Delta = \Delta_{y6}$ ,  $P_1 = 1$ .

$$P_{\geq 1} = 1 - e^{-\Delta_{y6} S_{ц}}.$$

#### ***Определение приведенной зоны осколочного поражения***

По рассмотренной методике рассчитывается вероятность поражения цели на каждой элементарной площадке  $P_i$ , затем определяется ПЗОП по формуле

$$S_{пр} = \sum_1^n P_i S_i.$$

#### ***Пример расчета условной вероятности поражения цели***

Необходимо рассчитать вероятность поражения цели в заданной точке при следующих исходных данных:

##### ***Характеристики снаряда:***

- калибр  $d = 0,152$  м;
- масса корпуса  $M_k = 37,96$  кг;
- относительное сужение материала корпуса  $\psi = 0,34$ ;
- предел прочности на разрыв материала корпуса  $\sigma_b = 870$  Мпа;
- масса взрывчатого вещества  $m_b = 5,6$  кг;
- скорость детонации  $D = 6900$  м/с.

##### ***Условия подрыва:***

- скорость снаряда в момент подрыва  $v_{сн} = 343$  м/с;
- угол падения  $\theta = 60^\circ$ ;
- высота подрыва  $Y = 0,2$  м.

**Данные по цели:**

- цель – открытая живая сила стоя;
- удельная убойная энергия  $E_{уд.уб} = 1 \text{ мДж/м}^2$ ;
- площадь цели  $0,5 \text{ м}^2$ .

**Координаты расчетной точки:**

$X = -7 \text{ м}$ ,  $Z = 7 \text{ м}$ .

**Решение**

1. Определяем количество осколков с массой более 1 г:

$$N_{\geq 1} = \beta \frac{1000 \cdot m_b}{r_{cp}} \cdot \frac{B}{\sqrt{\sigma_b/9.81}}.$$

По табл. 1, интерполируя по скорости детонации для  $D = 6900$ , получаем  $\beta = 0,59$ ;  $m_b = 5,6 \text{ кг}$ ;  $r_{cp} = d/2k = 0,152/(2 \cdot 1,45) = 0,052 \text{ м}$ .

Здесь для определения  $k$  находим

$$C_m = M_k / (1000 \cdot d^3) = 37,96 / (1000 \cdot 0,152^3) = 10,81;$$

$$\eta = m_b / M_k = 5,6 / 37,96 = 0,15.$$

По табл. 3 определяем  $k = 1,45$ .

По табл. 4 с помощью линейной интерполяции определяем

$$B = 0,304 \quad (\psi = 0,34; k = 1,45);$$

$$N_{\geq 1} = 0,59 \frac{1000 \cdot 5,6}{0,052} \cdot \frac{0,304}{\sqrt{870/9,81}} = 2046 \text{ шт.}$$

2. Определяем скорость разлета осколков:

$$v_p = 0,5D \left[ \frac{0,9\alpha}{(2-\alpha)} \right]^{0,5};$$

$$\alpha = m_b / (m_b + M_k) = 5,6 / (5,6 + 37,96) = 0,129;$$

$$v_p = 0,5 \cdot 6900 \cdot ((0,9 \cdot 0,129) / (2 - 0,129))^{0,5} = 859 \text{ м/с.}$$

3. Находим начальную скорость осколков:

$$v_0 = (v_c^2 + v_p^2 + 2 v_c v_p \cos \varphi)^{0,5}.$$

Из рис. 10  $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$ . Для определения этих углов найдем следующие величины:

$$oc = Y / \sin \theta = 0,2 / \sin 60^\circ = 0,23 \text{ м};$$

$$ca = (cb^2 + X^2)^{0,5} = ((Y/\operatorname{tg}\theta + Z)^2 + X^2)^{0,5} = (0,2/\operatorname{tg}60^\circ + 7)^2 + 7^2)^{0,5} = 9,98 \text{ м};$$

$$R = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{0,5} = (7^2 + 0,2^2 + 7^2)^{0,5} = 9,90 \text{ м};$$

$$\Pi = (oc + ca + R) / 2 = (0,23 + 9,98 + 9,9) / 2 = 10,06 \text{ м};$$

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= 2 \cdot \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{(\Pi - oc)(\Pi - ca)(\Pi - R)}}{(\Pi - ca)\sqrt{\Pi}} = \\ &= 2 \cdot \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{(10,06 - 0,23)(10,06 - 9,98)(10,06 - 9,90)}}{(10,06 - 9,98)\sqrt{10,06}}; \end{aligned}$$

$$\varphi_1 = 108,9^\circ.$$

При условии, что скорость разлета осколков больше скорости снаряда,

$$\sin \varphi_2 = (v_c/v_p) \sin \varphi_1 = (343/859) \sin 108,85^\circ = 0,378;$$

$$\varphi_2 = \operatorname{arcsin}(0,378) = 22,2^\circ;$$

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 108,9^\circ + 22,2^\circ = 131,1^\circ;$$

$$v_0 = (v_c^2 + v_p^2 + 2v_c v_p \cos \varphi)^{0,5} = (343^2 + 859^2 + 2 \cdot 343 \cdot 859 \cdot \cos 131,1^\circ)^{0,5} = 684,2 \text{ м/с}.$$

4. Определение минимальной массы эффективных осколков и их количества

$$\frac{m^{1/3}}{2\Phi} v_0^2 \exp\left(-\frac{c_x \rho \Phi R}{m^{1/3}}\right) \geq E_{\text{уд.уб}}.$$

$$\text{Принимаем } c_x = 1,21; \rho = 1,206 \text{ кг/м}^3; \Phi = 0,005 \text{ м}^2/\text{кг}.$$

$$\frac{m^{1/3}}{2 \cdot 0,005} 684,2^2 \exp\left(-\frac{1,21 \cdot 1,206 \cdot 0,005 \cdot 9,9}{m^{1/3}}\right) \geq 10^6.$$

Необходимо определить такую минимальную массу осколка, которая удовлетворит данному условию. Перебирая значения масс осколков от 1 г в большую сторону, по табл. 7 находим

$$m = 0,03 \text{ кг};$$

$$k_m = 0,058 \text{ (табл. 7)};$$

$$N_{\text{уб}} = k_m \cdot N = 0,058 \cdot 2046 = 119 \text{ шт}.$$

5. Определение плотности осколков в районе цели:

$$\Delta = \frac{Nk_{\phi}}{2\pi R^2(\cos \varphi_i - \cos \varphi_{i+1})} = 119 \cdot 0,06 / (2 \cdot 3,14 \cdot 9,9^2 \cdot (\cos(125^\circ) -$$

$-\cos(135^\circ))) = 0,86;$

$k_{\phi} = 0,06$  (по табл. 5 для угла  $131,1^\circ$ ).

6. Вероятность поражения цели

$$P = 1 - e^{-\Delta S_{ц}} = 1 - e^{-(0,86 \cdot 0,5)} = 0,35.$$

#### **Библиографический список**

1. *Методы оценки эффективности действия боеприпасов на стадии проектирования: Учеб. пособие/ А.Г. Белов [и др.]; Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 1996. 138 с.*
2. *Чуев Ю.В. Проектирование ствольных комплексов. М.: Машиностроение. 1967. 216 с.*
3. *Ильичев А.В. Эффективность проектируемой техники. Основы анализа. М.: Машиностроение, 1991. 336 с.*
4. *Фендриков Н.М., Яковлев В.И. Методы расчета боевой эффективности вооружения. М.: Воениздат, 1971. 224 с.*
5. *Ульрих К. Macromedia Flash MX 2004 для Windows и Macintosh. СПб.: Питер, 2004. 720 с.*
6. *Гурский Д. ActionScript 2: Программирование во Flash MX 2004. Для профессионалов. СПб.: Питер, 2004. 1088 с.*

## О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение .....	3
Системные требования.....	4
Установка и запуск .....	4
Исходные данные .....	4
<i>Характеристики величин исходных данных</i> .....	6
Расчет.....	12
Работа с результатами .....	13
Методика расчета .....	14
<i>Определение общего количества осколков, образующихся при под-     рыве боеприпаса</i> .....	15
<i>Определение скорости разлета, начальной скорости и скорости     встречи осколков с целью</i> .....	19
<i>Распределение осколков в области разлета</i> .....	21
<i>Распределение осколков по массе</i> .....	25
<i>Определение общего количества осколков, способных поразить     цель</i> .....	26
<i>Плотность осколков, способных поразить цель в пределах задан-     ной элементарной площадки</i> .....	27
<i>Вероятность поражения цели в заданной элементарной площадке</i> ....	27
<i>Определение приведенной зоны осколочного поражения</i> .....	28
Пример расчета условной вероятности поражения цели .....	28
Библиографический список.....	31

*Никулин Евгений Николаевич,  
Сергеев Евгений Николаевич*

### **Оценка эффективности осколочного действия осколочно-фугасных снарядов**

Редактор *Г.М. Звягина*

Корректор *Л.А. Петрова*

Подписано в печать 17.09.2007. Формат бумаги 60x84/16. Бумага документная.

Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,85. Тираж 150 экз. Заказ № 161

Балтийский государственный технический университет

Типография БГТУ

190005, С.-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д.1