

Список литературы

1. Гребенкин В. И., Кузнецов Н. П., Черепов В. И. Силовые характеристики маршевых твердотопливных двигательных установок и двигателей специального назначения. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2003. – 356 с.
2. Моделирование при реконструкции механизма столкновения автомобиля с преградой / М. Н. Березуев, Н. П. Кузнецов, С. М. Соловьев и др. – М. ; Ижевск : Регуляр. и хаот. динамика, 2005. – 206 с.
3. Bömelburg, H. Die praktische Anwendbarkeit der Wasseranalogie in quantitativer Form auf spezielle Probleme der Gasdynamik // Mitteilungen aus dem Max-Planck-Institut für Strömungsforschung. – Göttingen : Selbstverlag, 1954. – Nr. 10. – S. 82.
4. Виноградов Р. И., Жуковский М. И., Якубов И. Р. Газогидравлическая аналогия и ее практическое приложение. – М. : Машиностроение, 1978. – 152 с.
5. Исследование метода гидрогазоанalogии для исследования первоначального участка сверхзвуковой струи / Н. П. Кузнецов, С. М. Соловьев, В. И. Черепов и др. // Вестн. ИжГТУ. – 2005. – № 4. – С. 25–29.
6. Черепов В. И., Кузнецов Н. П., Гребенкин В. И. Идентификация силовых характеристик объектов машиностроения. – М. ; Ижевск : Регуляр. и хаот. динамика, 2002. – 200 с.

* * *

N. P. Kuznetsov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University
R. A. Yurtikov, Senior Lecturer, Izhevsk State Technical University
S. M. Solovjev, Senior Lecturer, Izhevsk State Technical University

An Estimation Method of Definition of Streaming Liquid Depth in a Flow Channel

The mathematical model for determining a streaming liquid depth in any place of a flow channel using a photographic camera is proposed. The method is based on the model flow photographs processing.

Keywords: flow channel, level gauge, fluid and gas analogy, digital photo

Получено 15.10.10

УДК 681.518.3:623.442

Е. М. Марков, старший преподаватель
 Ижевский государственный технический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗУЛЬТАТОВ ДРОБОВОГО ВЫСТРЕЛА ПО МИШЕНИ

Описывается моделирование результатов дробового выстрела по мишени. Полученная модель позволяет оценивать характеристики разлета и равномерности дробовой осыпи.

Ключевые слова: моделирование, модель дробового выстрела, рассеивание дроби, распределение Рэлея, дробовая осыпь

Под дробовым выстрелом будем понимать выстрел, выполненный дробью из гладкоствольного оружия по мишени, которая расположена на заданной дальности в вертикальной плоскости, перпендикулярной к направлению стрельбы. Количество дроби в патроне в зависимости от его назначения колеблется от нескольких десятков до нескольких сотен штук.

Исследованиями результатов стрельбы из дробового оружия с применением математического аппарата занимались многие ученые. Одним из первых был французский генерал Журнэ (Journee), затем – А. А. Зернов и Б. А. Крейцер [2–4] и др. Проведенные ими исследования показали, что всякая дробовая осыпь, полученная в результате выстрела из гладкоствольного ружья, подчиняется «единому закону распределения дроби на площади заданного круга, независимо от дистанции стрельбы, номера дроби и т. д.» [4].

На основе опытных данных А. А. Зернов и Б. А. Крейцер получили эмпирическую зависимость процента пробоин P , попадающих в заданный круг, от значения радиуса этого круга r , которая имеет следующий вид:

$$P = 1 - \frac{1}{2^{k^2}}, \quad (1)$$

где $k = r/R_{50}$; r – радиус круга, вмещающего определенный процент пробоин; R_{50} – радиус круга, содержащий 50 % пробоин.

Соотношение (1) устанавливает связь между P и k при известном R_{50} , однако не позволяет определить связи между другими параметрами дробового выстрела и видом его распределения. Например, найти зависимость P от среднеквадратического отклонения σ , соответствие между произвольным радиусом дробовой осыпи и вероятностью попадания в круг этого радиуса.

Для нахождения указанных зависимостей проведено статистическое моделирование результатов дробового выстрела в предположении, что распределение координат пробоин по осям X и Y подчиняется нормальному закону.

$$P_X = \frac{1}{\sigma_X \sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x}{\sigma_X}\right)^2}; \quad P_Y = \frac{1}{\sigma_Y \sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{y}{\sigma_Y}\right)^2}, \quad (2)$$

где $\sigma_X = \sigma_Y = \sigma$ – среднеквадратическое отклонение распределения дробовой осыпи по осям X и Y , математическое ожидание распределения дробовой осыпи предполагается совпадающим с точкой прицеливания т. е. $\mu_X = \mu_Y = 0$.

Пример дробового выстрела для числа дроби $N = 100$, $\sigma = 1$ показан на рис. 1, а результаты статистического моделирования P от k на рис. 2 (точки). Сплошной линией показана зависимость, полученная из соотношения (1).

Из рис. 2 следует, что соотношение (1) и предложенная статистическая модель дробового выстрела совпадают с достаточной степенью точности. Этот вывод подтвержден путем проверки полученного распределения по критерию Колмогорова – Смирнова. Для различных объемов $N = 100 \dots 1000$ в серии из 20 экспериментов среднее значение критерия составило – 0,622, когда критическое значение критерия для уровней значимости $\alpha = 0,05$ равно 1,358, а для $\alpha = 0,01$ равно 1,628.

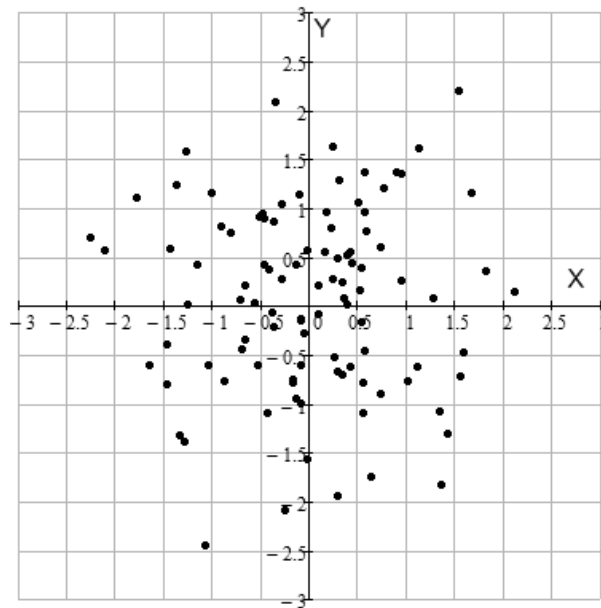


Рис. 1. Распределение пробоин при $N = 100$ для одного выстрела

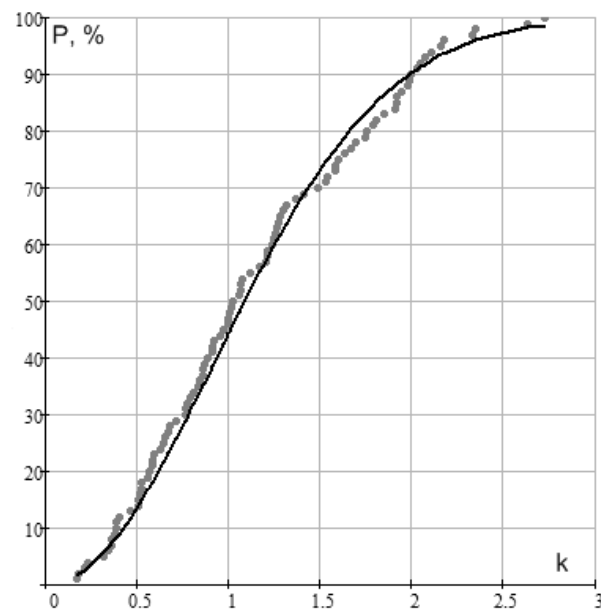


Рис. 2. Зависимость процента попаданий P от k для одного выстрела

Из того, что распределение координат пробоин по осям X и Y подчиняется нормальному закону, следует, что относительно средней точки попадания (СТП) это распределение подчиняется закону Рэлея [1, 5]:

$$P = 1 - e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}. \quad (3)$$

Выражение (3) позволяет найти связь между произвольным радиусом дробовой осыпи и вероятностью попадания в круг этого радиуса.

$$r = \sigma \sqrt{2 \ln \left(\frac{1}{1-P} \right)}. \quad (4)$$

В частности, для R_{50} и k имеем:

$$R_{50} = \sigma \sqrt{2 \ln 2} \approx 1,1774\sigma, \quad (5)$$

$$k = \frac{r}{R_{50}} = \frac{\sigma \sqrt{-2 \ln(1-P)}}{\sigma \sqrt{-2 \ln(1-0,5)}} = \sqrt{\log_2 \left(\frac{1}{1-P} \right)}. \quad (6)$$

Формулы (4) и (5) позволяют найти связь между СКО выстрела σ и радиусом r , R_{50} и наоборот, по радиусу R_{50} оценить значение σ . Соотношения (6) и (1) тождественно соответствуют друг другу. При этом соотношение (1) получено из опытных данных, а соотношение (6) из предложенной статистической модели дробового выстрела, что еще раз подтверждает справедливость предложенной модели.

Для проверки полученной модели на практике был проведен эксперимент. Стрельба производилась на дистанции 20 м с рук без упора из ружья Сайга-12К с дульным сужением 0,1 мм («с напором») патроном «ТехКрим» № 5/76 (пыж-контейнер). Количество дроби в патроне около 245 штук.

Для расчета R_{50} на дистанции 20 м воспользуемся формулой, приведенной в работе И. А. Арбузова для дульного сужения 0,1 мм $R_{50} = 5L^{1,26}$ [5], где L – дистанция стрельбы в метрах. По полученным данным и по предложенной модели рассчитаем характеристики выстрелов: R_{50} , σ , R_{100} , R_{50}/σ , P_{750} , где R_{100} – радиус полного разлета ($P=0,995$), P_{750} – процент попадания дроби в круг диаметром 750 мм.

Таблица показывает, что результаты расчетов по предложенной модели согласуются с данными, полученными в эксперименте (табл.). Первый выстрел несколько выделяется по сравнению с двумя последующими, это связано с тем, что стрельба велась с рук без закрепления ружья.

Результаты эксперимента и расчетные данные

Номер выстрела (количество дроби)	Характеристики выстрела, мм					
	σ_x	σ_y	R_{50}	R_{100}	R_{50}/σ	P_{750} , %
1 (244)	193	197	235	684	1,206	84,4
2 (241)	189	186	214	614	1,138	86,7
3 (243)	186	174	214	583	1,186	88,5
Среднее	189	186	221	627	1,177	86,5
Расчетные данные по модели	185	185	218	688	1,177	87,2

Таким образом, предложенная модель позволяет установить связь между такими величинами, как P , k , σ , R_{50} , произвольным радиусом r , что дает возможность рассчитывать результаты дробового выстрела по мишени при различных исходных данных.

Список литературы

1. Афанасьева Н. Ю., Афанасьев В. А., Веркиенко Ю. В. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие. – Ижевск : Изд-во Ижев. гос. техн. ун-та, 2006. – 247 с.
2. Зернов А. А., Крейцер Б. А. Стрельба дробью охотничья и спортивная. – М. : Воениздат, 1930.
3. Журнэ М. Мемуары о стрельбе из охотничьего ружья / пер. с фр. Н. Чижикова. – СПб., 1895.
4. Крейцер Б. А., Степанов И. П. Дробовой выстрел. – М. : Физкультура и спорт, 1959. – 72 с.
5. Арбузов И. А. Математический анализ дробового выстрела : моногр. – М. : Компания Спутник+, 2006. – 31 с.

* * *

E. M. Markov, Senior Lecturer, Izhevsk State Technical University

Modelling and Research of Characteristics of a Small Shot Target-Shooting

The modeling results of a small shot target-shooting are described. The received model allows estimating characteristics of scattering and uniformity of the shot debris.

Keywords: modeling, small shot shooting model, shot dispersion, Rayleigh distribution, shot debris

Получено 12.10.10

УДК 681.518.3:623.442

E. M. Марков, старший преподаватель;

Ижевский государственный технический университет

С. В. Казаков, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Институт прикладной механики УрО РАН

АНАЛИЗ И ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДРОБОВОГО ВЫСТРЕЛА НА МИШЕНИ

Описывается анализ, описание и способ выделения дробовых отметок на бинарном изображении мишени после дробового выстрела.

Ключевые слова: обработка изображений, выделение объектов, описание объектов, дробовой выстрел

Изображения, получаемые в телевизионной автоматизированной измерительной системе, предназначенной для оценки результатов дробового выстрела [2], подвергаются поэтапной обработке. Одним из таких этапов является анализ и описание объектов изображений после того, как они выделены на этапе бинаризации относительно фона [1].

После этапа бинаризации необходимо составить описание объектов для их дальнейшего анализа и фильтрации [3, 4]. Так как дробовые отметки на изображе-