

УДК 681.518.3:623.442

**Е. М. Марков**, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

**А. Ю. Вдовин**, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

**С. Ф. Егоров**, кандидат технических наук, доцент, Институт механики УрО РАН, Ижевск

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДРОБОВОЙ ОСЫПИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАВНОМЕРНОСТИ С УЧЕТОМ ПАРАМЕТРОВ СТРЕЛЬБЫ

*Представлена модель дробовой осыпи для оценки равномерности на основе стодольной сетки с учетом дистанции стрельбы, дульного сужения, номера дроби и других параметров, а также исследование применения ее на практике.*

**Ключевые слова:** моделирование, модель дробовой осыпи, равномерность осыпи, дробовой выстрел.

**П**роверка равномерности осыпи проводится с использованием различных типов мишеней. Общепринятой [1, 2, 3] является проверка распределения дробовой осыпи по стодольной мишени с долями равной площади диаметром 750 мм путем подсчета числа долей, пораженных хотя бы одной дробинкой.

На основе многочисленных экспериментов по испытанию ружей, проведенных испытательной станцией Ванзее в Германии [1], А. А. Зерновым [2], А. И. Толстопятом [3] составлены таблицы поражения долей стодольной мишени на дистанции 35 м в зависимости от количества дроби [1, 2, 3]. Анализируя эти таблицы, И. А. Арбузов [4] установил, что данные таблиц подчинены биномиальному закону распределения [4]:

$$P_{n,m} = C_n^m p^m q^{n-m}, \quad (1)$$

где  $C_n^m$  – число сочетаний из  $n$  элементов по  $m$ ;  $p$  – вероятность появления события при каждом испытании;  $q = 1 - p$ ;  $P_{m,n}$  – вероятность того, что при  $n$  испытаниях событие произойдет  $m$  раз;  $m = 1, 2, 3 \dots n$ .

Таким образом, для стодольной мишени вероятность попадания  $m$  дробинок в одну долю при числе дробинок, попавших в мишень,  $N_M$  и предположении, что вероятность попадания одной дробины в долю равна  $1/100$ , имеет вид

$$P_{N_M,m} = C_{N_M}^m \left(\frac{1}{100}\right)^m \left(\frac{99}{100}\right)^{N_M-m}; \quad (2)$$

$$P_{N_M,0} = \left(\frac{99}{100}\right)^{N_M}; \quad (3)$$

$$K = (1 - P_{N_M,0}) \cdot 100, \quad (4)$$

где  $K$  – математическое ожидание числа пораженных долей.

И. А. Арбузов также отмечает: предположение, что вероятность попадания каждой дробины в долю

одинакова и равна  $1/100$ , не совсем справедливо, так как дробь при любой сверловке ствола имеет сгущение к центру.

С целью учета сгущения к центру воспользуемся моделью, полученной Е. М. Марковым [5, 6] для дробовой осыпи, что позволит теоретически рассчитывать количество пораженных долей для любой дистанции стрельбы, дульного сужения и номера дроби. Стодольную мишень разделяют на пять зон окружностями радиусам 75, 150, 225, 300, 375 мм и количеством долей 4, 12, 20, 28, 36 в каждой зоне соответственно. Из предположения, что вероятность поражения долей в пределах зоны равновероятна, модель, описывающая вероятность попадания дроби в окружность радиуса  $r$ , может быть представлена в виде

$$P(r) = 1 - e^{-\frac{\ln(0,5)d}{m} \left(\frac{r}{a \cdot L^b}\right)^2}, \quad (5)$$

где  $P(r)$  – вероятность попадания в окружность радиуса  $r$  на дистанции  $L$  из данного ружья ( $m, a, b$  – коэффициенты, учитывающие особенности ружья) дробью диаметром  $d$ .

Составим формулы вероятности непораженных долей для каждой из зон мишени отдельно, используя формулу (5):

$$P_{0_S} = 1 - \frac{P(75 \cdot S) - P(75 \cdot (S-1))}{(8S-4) \cdot P(375)}, \quad (6)$$

где  $P_{0_S}$  – фиксированная величина вероятности непораженных долей для зон с номерами  $S = 1, 2, \dots, 5$ , дульного сужения и номера дроби.

Если принять количество дроби в патроне равным  $N$ , то количество дробинок, попавшее в мишень диаметром 750 мм, будет  $N_M = P(375) \cdot N$ .

Рассчитаем вероятность поражения долей каждой из зон:

$$P_S = 1 - (P_{0_S})^{N_M}, \quad K_S = P_S \cdot (8S-4), \quad (7)$$

где  $P_S$  – вероятность поражения долей для зон с номерами  $S$ ;  $K_1 \dots K_5$  – математическое ожидание

числа пораженных долей для зон с первой по пятую.

Математическое ожидание числа пораженных долей стодольной мишени:

$$K_M = \sum_{s=1}^5 K_s. \quad (8)$$

Произведем расчет и сопоставим результаты по предложенной модели с учетом неравномерности поражения зон стодольной мишени с результатами, полученными И. А. Арбузовым и табличными данными А. А. Зернова (приводит в своей таблице диапазоны значений). Для расчета по предложенной модели воспользуемся различными дистанциями и дульными сужениями без учета влияния диаметра дроби, так как данные о диаметре дроби в результатах И. А. Арбузова и в таблицах А. А. Зернова отсутствуют.

Проанализировав данные, приведенные в табл. 1, можно сделать вывод, что на дистанции 35 м можно использовать формулу, предложенную И. А. Арбузовым. При увеличении дульного сужения сгущение

к центру увеличивается, и количество пораженных долей мишени начинает уменьшаться. При уменьшении дистанции стрельбы относительно стандартной дистанции 35 м данные И. А. Арбузова и А. А. Зернова начинают расходиться с данными, полученными по модели (8), учитывающей сгущение к центру.

Рассмотрим подробнее проценты и количество пораженных долей в зонах мишени для различных дистанций и типов стволов, для чего по модели (7), (8) рассчитаем количество и процент поражения долей в пяти зонах стодольной мишени. При расчетах не будем учитывать влияние диаметра дроби.

Как видно из табл. 2, с увеличением дульного сужения и уменьшением дистанции стрельбы увеличивается сгущение к центру. Однако количество пораженных долей зависит не только от дальности стрельбы, но и от дульного сужения. В частности, из табл. 1 и 2 следует, что процент пораженных долей от зоны к зоне выравнивается с увеличением  $N_M$ . По этой причине использовать значения количества пораженных долей в разных зонах для оценки сгущения к центру не следует.

Таблица 1. Результаты поражения стодольной мишени

| Дистанция | Кол-во дроби, попавшее в стодольную мишень $N_M$ | Количество пораженных долей        |         |  |        |        |
|-----------|--|------------------------------------|---------|--|--------|--------|
|           |  | Данные без учета сгущения к центру |         | Данные с учетом сгущения к центру по модели, сужение |        |        |
|           |  | Зернов                             | Арбузов | 0 мм   | 0,5 мм | 1,0 мм |
| 35 м      | 50   | 37–41                              | 39,5    | 39,4   | 39,1   | 38,5   |
|           | 100  | 61–65                              | 63,4    | 63,1   | 62,5   | 60,4   |
|           | 150  | 75–79                              | 77,9    | 77,5   | 76,6   | 74,5   |
|           | 200  | 85–89                              | 86,6    | 86,2   | 85,3   | 83,0   |
|           | 300  | 94–97                              | 95,1    | 94,8   | 94,0   | 92,0   |
| 20 м      | 50   |                                    |         | 37,9   | 33,4   | 26,5   |
|           | 100  |                                    |         | 59,6   | 49,7   | 36,4   |
|           | 150  |                                    |         | 72,7   | 59,4   | 42,3   |
|           | 200  |                                    |         | 81,0   | 66,1   | 46,4   |
|           | 300  |                                    |         | 90,2   | 75,0   | 52,1   |

Таблица 2. Результаты поражения стодольной мишени по зонам

| Дистанция, дульное сужение | $N_M$ | Поражение долей зоны, % |       |       |       |       | Количество пораженных долей в зонах |       |       |       |       |       |
|----------------------------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                            |       | $P_3$                   | $P_4$ | $P_3$ | $P_2$ | $P_1$ | $K_5$                               | $K_4$ | $K_3$ | $K_2$ | $K_1$ | $K_M$ |
| 35 м, без сужения          | 150   | 72,8                    | 77,6  | 81,0  | 83,1  | 84,1  | 26,2                                | 21,7  | 16,2  | 10,0  | 3,4   | 77,5  |
| 35 м, без сужения          | 300   | 92,6                    | 95,0  | 96,4  | 97,2  | 97,5  | 33,3                                | 26,6  | 19,3  | 11,7  | 3,9   | 94,8  |
| 30 м, без сужения          | 150   | 70,3                    | 77,3  | 82,2  | 85,2  | 86,6  | 25,3                                | 21,7  | 16,4  | 10,2  | 3,5   | 77,1  |
| 25 м, без сужения          | 150   | 65,4                    | 76,6  | 84,1  | 88,4  | 90,3  | 23,5                                | 21,4  | 16,8  | 10,6  | 3,6   | 75,9  |
| 20 м, без сужения          | 150   | 54,4                    | 74,1  | 86,9  | 93,0  | 95,3  | 19,6                                | 20,7  | 17,4  | 11,2  | 3,8   | 72,7  |
| 20 м, сужение 0,5 мм       | 150   | 24,7                    | 60,3  | 89,4  | 98,3  | 99,6  | 8,9                                 | 16,9  | 17,9  | 11,8  | 4,0   | 59,4  |

При проведении экспериментов с помощью информационно измерительной системы, автоматизирующей испытания [5], данные выстрелов проверялись на равномерность средствами стодольной мишени, которая накладывалась на центр дробовой осыпи. Сопоставим данные, полученные экспериментально и рассчитанные по модели.

Из таблицы 3 видно, что предложенная модель поражения стодольной мишени согласуется с экспериментальными данными на различных дистанциях и ружьях. Для дистанции 20 м ошибка по количеству пораженных долей стодольной мишени составила 1 долю, для 25 м – 5 долей, для 30 м – 3 доли, что

обусловлено случайным характером стрельбы дробью и оценкой одиночных выстрелов.

Таким образом, предложенная модель расчета поражения стодольной мишени диаметром 750 мм может быть использована для получения теоретических оценок равномерности дробовой осыпи из различных ружей на заданной дистанции. Отметим, что предложенная методика построения модели позволяет построить модели поражения и других распространенных мишеней, например, 16 и 24 дольных мишеней. Кроме того, можно рассчитать конфигурации и размеры новых мишеней, предназначенных для дистанций, меньших стандартной в 35 м.

Таблица 3. Результаты поражения стодольной мишени по зонам, полученные экспериментально

| Дистанция, дульное сужение | $N_M$ | Процент поражения долей зоны, % |       |       |       |       | Количество пораженных долей в зонах |       |       |       |       |       |
|----------------------------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                            |       | $P_3$                           | $P_4$ | $P_5$ | $P_2$ | $P_1$ | $K_5$                               | $K_4$ | $K_3$ | $K_2$ | $K_1$ | $K_M$ |
| Экспериментально           |       |                                 |       |       |       |       |                                     |       |       |       |       |       |
| 20 м, без сужения          | 242   | 16,7                            | 53,6  | 80    | 100   | 100   | 6                                   | 15    | 16    | 12    | 4     | 53    |
| 25 м, без сужения          | 160   | 44,4                            | 64,3  | 90    | 100   | 100   | 16                                  | 18    | 18    | 12    | 4     | 68    |
| 30 м, без сужения          | 146   | 36,1                            | 67,9  | 85    | 100   | 100   | 13                                  | 19    | 17    | 12    | 4     | 65    |
| По модели                  |       |                                 |       |       |       |       |                                     |       |       |       |       |       |
| 20 м, без сужения          | 242   | 11,2                            | 54,4  | 96,1  | 100   | 100   | 4,0                                 | 15,2  | 19,2  | 12    | 4     | 54,4  |
| 25 м, без сужения          | 160   | 29                              | 64,6  | 90,8  | 98,5  | 99,6  | 10,5                                | 18,1  | 18,2  | 11,8  | 4     | 62,6  |
| 30 м, без сужения          | 146   | 44,8                            | 70,3  | 87,5  | 94,9  | 97,2  | 16                                  | 19,7  | 17,5  | 11,4  | 3,9   | 68,6  |

#### Библиографические ссылки

1. Поздняков А. А. Гражданский инженер : Современное дробовое охотничье оружие. – М. : Охотничий вестник, 1913. – 320 с.
2. Зернов А. А., Крейцер Б. А. Стрельба дробью охотничья и спортивная. – М., 1930. – 210 с.
3. Крейцер Б. А., Толстомят А. И. Охотничьи ружья и боеприпасы. – М. : Физкультура и спорт, 1967. – 82 с.

4. Арбузов И. А. Математический анализ дробового выстрела. – М. : Спутник+, 2006. – 31 с.

5. Марков Е. М. Моделирование и исследование характеристик дробового выстрела по мишени // Интеллектуальные системы в производстве. – 2010. – № 2. – С. 172–176.

6. Марков Е. М. Разработка средств контроля параметров дробового оружия с использованием телекамеры : дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 2011. – 171 с.

*E. M. Markov*, PhD in Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

*A. Yu. Vdovin*, PhD in Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

*S. F. Egorov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Institute of Mechanics of the Ural branch of the RAS, Izhevsk

#### Development of Shot Pattern Model to Estimate Uniformity with Account of Shooting Parameters

The article presents the model of shot pattern to estimate the shot uniformity based on one hundred longitudinal target with account of shooting parameters, and investigation of this model practical application.

**Key words:** modeling, shot pattern model, shot pattern uniformity, shotgun launch.

УДК 621.43.016.4(031)

**В. Н. Сяктерев**, кандидат технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

**В. В. Сяктерева**, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

**И. С. Акчурин**, магистрант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ *РIS* В СИСТЕМЕ ТЕРМОМЕТРИРОВАНИЯ ПОРШНЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Представлены результаты моделирования и экспериментального исследования макета микропроцессорной системы термометрирования поршня двигателя внутреннего сгорания. Показана возможность применения микропроцессоров *РIS* в телеметрических системах измерения температуры поршня двигателя.

**Ключевые слова:** поршень двигателя внутреннего сгорания, измерение температуры, микроконтроллер, микропроцессорная система.

Для измерения температуры поршня двигателя внутреннего сгорания (ДВС) известно применение телеметрических систем с оптическим способом передачи информации с поршня двигателя на приемно-регистрирующую аппаратуру, установленную, например, в картре двигателя [1].

В таких системах температура в характерных точках поршня двигателя преобразуется в длительность временных интервалов или в частоту следова-

ния импульсов с помощью специальных промежуточных преобразователей. Несмотря на достаточно высокую стабильность преобразования температуры с использованием современной элементной базы, значительная погрешность в измерении температуры поршня вносится большой глубиной модуляции передаваемого сигнала в оптическом канале связи. Как показано в исследованиях [2], диапазон изменения сигнала на входе приемника информации в оптиче-