

УДК 004.942

DOI: 10.22213/2410-9304-2024-3-55-61

Методика получения зависимости размаха по времени дробового снопа от дальности

А. Ю. Вдовин, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия
Е. А. Подшивалова, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

При исследовании поведения дробового снопа в пространстве могут использоваться разнообразные информационно-измерительные системы, например, на основе световых экранов (фотоэлектронных блокирующих устройств стрелковой баллистической измерительной установки, состоящих из линейного излучателя и оптического датчика на основе фотодиода). Для исследования процесса движения дробового снопа в пространстве и корректной оценки его параметров (например, длины на заданной дальности от дульного среза) целесообразно иметь имитационную модель сигнала оптического датчика при пересечении светового экрана дробовым снопом. С учетом ранее проведенных исследований для получения подобной модели на некоторой дальности от дульного среза оружия необходимо знать величину параметра масштаба в распределении Рэлея, описывающего дробовой сноп в направлении стрельбы во времени. Предложена методика, позволяющая на основе реальных данных с нескольких оптических датчиков световых экранов, установленных на стрелковой трассе, получать функцию зависимости между упомянутым параметром масштаба и расстоянием от дульного среза. Приведен пример использования предложенной методики для получения подобных функций по результатам обработки сигналов оптических датчиков, полученных при реальных экспериментах для патронов, снаряженных дробью трех различных типов. Проведена аппроксимация полученных зависимостей полиномами первой и второй степени по методу наименьших квадратов, выполнена оценка погрешности для различных типов патронов. На основании полученных результатов предложены конкретные рекомендации по практическому использованию разработанной методики. Выполнена оценка ширины доверительных интервалов для математического ожидания размаха по времени дробового снопа. Обозначены пути создания более совершенных имитационных моделей сигналов оптических датчиков световых экранов при стрельбе дробью.

Ключевые слова: дробовой сноп, размах по времени, световой экран, оптический датчик, сигнал, имитационная модель, распределение Рэлея.

Введение

Дробовое оружие массово применяется охотниками и спортсменами [1], а в последние годы даже рассматривается как средство борьбы с малоразмерными БПЛА [2]. Проводятся и исследования, посвященные изучению внутренней и внешней баллистики дробового выстрела. При этом существенная часть подобных исследований посвящена, в первую очередь, изучению кучности стрельбы на основании анализа результатов попаданий в плоскую мишень [3–6], расположенную на некоторой дальности от дульного среза.

Постановка задачи

и анализ вариантов ее решения

Важно также понимать, как дробовой сноп распределен в пространстве на различных дальностях [7], при этом желательно иметь некую аналитическую зависимость длины дробового снопа от дальности (или времени). При наличии эмпирических сведений о скорости дроби на заданной дальности от дульного среза для расчета длины дробового снопа достаточно знать длительность пересечения дробовым снопом некоторой плоскости, находящейся на этой дальности. Таким образом, необходимо разработать методику, которая позволяла бы оценить длительность пересечения дробовым снопом плоскости, находящейся на заданной дальности от дульного среза оружия.

Выполнить оценку длины дробового снопа на некоторой дальности можно, например, с помощью высокоскоростной видеосъемки [8–12], при этом для получения аналитической зависимости необходимо установить на стрелковой баллистической трассе по

меньшей мере две-три высокоскоростные камеры, синхронизованные друг с другом. Стоимость проведения такого эксперимента будет чрезвычайно высока. Зато существует возможность оценки размаха по времени дробового снопа (длительности пересечения дробовым снопом некоторой плоскости) на нужной дистанции с помощью, например, светового экрана. Световой экран – фотоэлектронное блокирующее устройство стрелковой баллистической измерительной установки, состоящее из датчика и линейного излучателя, при затенении светового потока движущимся объектом на выходе датчика формируется электрический импульс [13–15].

Далее, зная величину длительности и имея сведения о законе изменения скорости дробового снопа [16], можно будет получить приближенное значение длины дробового снопа. Можно было бы оценить длительность пересечения дробовым снопом нескольких световых экранов, установленных на разных дальностях от дульного среза, после чего выполнить аппроксимацию результатов. Но длительность пересечения дробовым снопом светового экрана имеет вероятностный характер – известно [17], что совокупность моментов времени пересечения отдельными дробинами светового экрана наиболее близка к распределению Рэлея. При этом ранее проведенные исследования [18] позволили установить, что длительность пересечения дробовым снопом светового экрана (или величина размаха по времени дробового снопа) прямо пропорциональна параметру масштаба σ в распределении Рэлея, а также разработать методику получения величины σ .

Величину σ можно рассчитать по формуле

$$\sigma = \frac{M_w}{I} \quad (1)$$

где M_w – математическое ожидание длительности пересечения дробовым снопом светового экрана; I – некое численное значение, не зависящее от σ , а лишь от количества дроби n .

При этом зависимость $I(n)$ с достаточно хорошей точностью аппроксимирована функцией $A(n)$ – (2)

$$A = 0,372 + 0,928 \arctan(0,111n) + \log_{31,6} n \quad (2)$$

Описание эксперимента

Световые экраны установлены почти перпендикулярно направлению стрельбы на дальностях $x_1 = 5$ м, $x_2 = 9$ м, $x_3 = 20$ м, $x_4 = 24$ м от дульного среза изделия, датчики подключены к виртуальному цифровому осциллографу АКТАКОМ, соединенному с ЭВМ. При оценке величины размаха по времени дробового снопа следует учитывать, что системой при выстреле может фиксироваться не только дробь, но и конструктивные элементы патрона (например, пыж-контейнер) [19].

Кроме того, анализируемый сигнал может быть сильно зашумлен, поэтому применялись специальные алгоритмы цифровой фильтрации [20].

Расчет производился на основе тринадцати файлов, содержащих сигналы оптического датчика, полученные в процессе стрельбы из ружья Сайга-12К патронами, снаряженными дробью различного типа (№ 1, 3, 5).

С помощью специально разработанной программы оценивались моменты времени начала и конца пересечения дробовым снопом светового экрана, и на основе полученных значений рассчитан размах по времени дробового снопа. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Экспериментально полученные величины размаха по времени дробового снопа на разных дальностях
Table 1. Experimentally obtained values of the time span of a shot sheaf at different ranges

№ дроби в патроне	№ файла	Размах по времени дробового снопа для световых экранов на различных дальностях, мс			
		x_1	x_2	x_3	x_4
№1	1	1,370	3,770	8,360	12,900
	2	0,760	2,200	9,350	13,500
	3	2,050	2,250	8,650	13,750
№3	4	1,000	2,050	8,400	14,280
	5	1,000	3,400	11,450	15,400
№5	6	0,870	2,620	13,950	17,450
	7	0,750	2,050	12,720	15,010
	8	1,130	2,520	9,300	14,300
	9	1,180	2,275	13,000	16,760
	10	0,950	2,400	10,080	19,476
	11	0,750	2,050	8,200	14,660
	12	0,970	2,100	7,120	12,120
13	1,100	2,840	10,280	16,600	

Обработка полученных данных

Далее были рассчитаны средние значения размаха по времени дробового снопа для различных типов патронов для каждого светового экрана, полученные данные представлены в табл. 2.

Таблица 2. Средние значения размаха по времени дробового снопа

Table 2. Average values of the time span of a shot sheaf

№ дроби в патроне	Средний размах по времени дробового снопа для световых экранов на различных дальностях, мс			
	x_1	x_2	x_3	x_4
№1	1,393	2,740	8,787	13,383
№3	1,000	2,725	9,925	14,840
№5	0,963	2,357	10,581	15,797

По (2) был рассчитан параметр A для всех рассмотренных типов патронов, полагая, что количество дроби в патроне для дроби № 1 – 90, № 3 – 120, № 5 – 250. Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3. Параметр A для различных патронов

Table 3. Parameter A for different cartridges

№ дроби в патроне	Параметр A
№1	3,040
№3	3,147
№5	3,395

Далее был рассчитан коэффициент масштаба σ по (1) с использованием табл. 2, 3, при этом в качестве I будем подставлять полученные значения A , результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4. Рассчитанный коэффициент масштаба

Table 4. Calculated scalefactor

№ дроби в патроне	σ для световых экранов на различных дальностях			
	x_1	x_2	x_3	x_4
№1	0,4583	0,9013	2,8901	4,3692
№3	0,3178	0,866	3,1542	4,7162
№5	0,2835	0,694	3,1165	4,6528

По данным табл. 4 полученный набор данных был аппроксимирован по методу наименьших квадратов полиномами 1 и 2 степеней (рис. 1 и 2 соответственно) для каждого типа патронов.

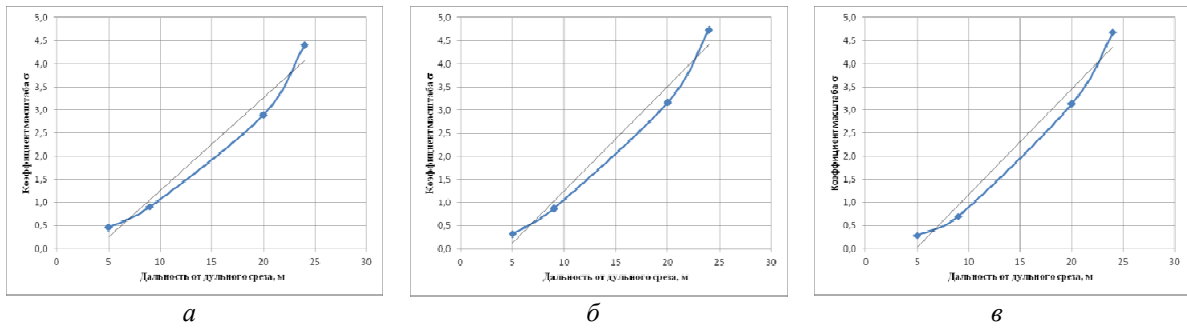


Рис. 1. Линейная аппроксимация полученных значений σ для разных типов патронов (а – № 1, б – № 3, в – № 5)

Fig. 1. Linear approximation of the obtained σ values for different types of cartridges (a - No. 1, б - No. 3, в - No. 5)

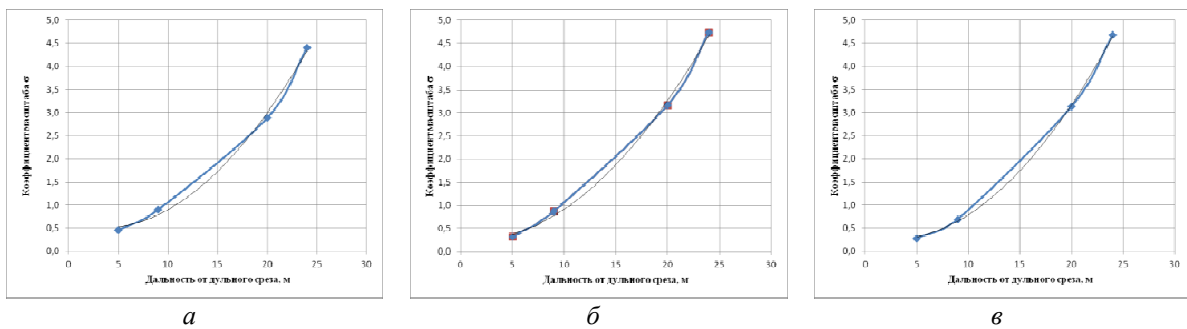


Рис. 2. Аппроксимация полиномом 2-й степени полученных значений σ для разных типов патронов (а – № 1, б – № 3, в – № 5)

Fig. 2. Approximation by a polynomial of the 2nd degree of the obtained values of σ for different types of cartridges (a - No. 1, б - No. 3, в - No. 5)

При этом дальность до 5 м не анализировалась. Исследователи [21] указывают, что в так называемой околосредней области (на расстоянии до 5–10 м) и далее поведение дробового снопа существенно различно в связи с тем, что на малых дальностях дробь перемещается скученно и нельзя считать, что движение дробового снопа соответствует закону, характерным для движения отдельной дробины.

Полученные формулы аппроксимирующих полиномов представлены в табл. 5.

Таблица 5. Формулы аппроксимации

Table 5. Approximation formulas

№ дроби в патроне	Аппроксимирующие полиномы	
	1-й степени	2-й степени
№1	$y = 0,19955x - 0,73881$	$y = 0,00863x^2 - 0,05084x + 0,55633$
№3	$y = 0,2256x - 1,00767$	$y = 0,00845x^2 - 0,0194x + 0,25959$
№5	$y = 0,19979x - 0,73968$	$y = 0,00864x^2 - 0,0509x + 0,55699$

Для оценки точности были найдены средние отклонения исходных значений от аппроксимирующих полиномов (табл. 6).

Качество аппроксимации оценивалось с помощью величины $|\Delta|$ по формуле

$$|\Delta| = \frac{\sum_{i=0}^3 |y_i - \sigma_i|}{4}, \quad (3)$$

где σ_i – совокупность исходных значений, y_i – совокупность значений в заданных точках, полученных с помощью аппроксимирующих полиномов (табл. 5).

Таблица 6. Средние значения абсолютных отклонений

Table 6. Average values of absolute deviations

№ дроби в патроне	$ \Delta $ для полиномов различной степени	
	1	2
№1	0,259	0,082
№3	0,253	0,076
№5	0,256	0,082

Полученные результаты показывают, например, что при оценке σ по формулам линейной аппроксимации (см. табл. 5) среднее значение абсолютного отклонения для различных типов патронов может составлять от 5–6 % на дальности x_4 до 60–90 % на дальности x_1 (см. табл. 4). В случае же аппроксимации полиномом второй степени имеем от 1,6–1,9 % на дальности x_4 до 18–29 % на дальности x_1 , что тоже достаточно существенно. Это позволяет сделать следующие выводы:

– при проведении аппроксимации желательно иметь большее число точек с тем, чтобы иметь возможность подобрать более подходящую аппрокси-

мирующую функцию, обеспечивающую минимальную погрешность оценки σ ;

– с увеличением дальности от 5 до 24 м относительная погрешность оценки σ по формулам аппроксимирующих полиномов в среднем существенно (более чем на порядок) уменьшается.

В заключение была выполнена оценка ширины доверительных интервалов для математического ожидания размаха по времени M_w . Вообще, задача определения такого интервала для произвольного числа опытов решена только для случая нормально распределенной случайной величины [22]. Но распределение размаха по времени дробового снопа по форме весьма близко (рис. 3) к нормальному, имеющему такое же математическое ожидание и дисперсию. В связи с этим для ориентировочной оценки ширины доверительного интервала D_w была использована формула, справедливая для нормального распределения. Для различных дальностей (10, 20, 30 м) были рассчитаны σ (в соответствии с функциями полиномов из табл. 5), M_w , D_w – табл. 7.

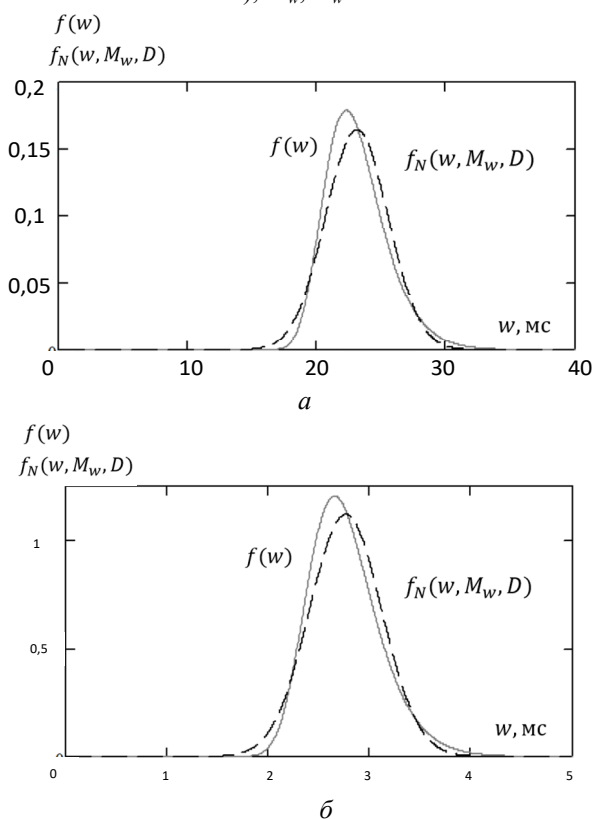


Рис. 3. Иллюстрация сходства распределения размаха по времени дробового снопа и нормального при различных параметрах: а – $\sigma=0,911$; $n=90$; $M_w=2,763$; $D=0,356$; б – $\sigma=6,806$; $n=250$; $M_w=23,11$; $D=9,5$

Fig. 3. Illustration of the similarity of the time span distribution of a shot sheaf and the normal one for various parameters: а – $\sigma=0.911$; $n=90$; $M_w=2.763$; $D=0.356$; б – $\sigma=6.806$; $n=250$; $M_w=23.11$; $D=9.5$

На рис. 3 $f(w)$ – плотность распределения размаха по времени дробового снопа, $f_N(w, M_w, D)$ – плотность нормального распределения при математическом ожидании M_w и дисперсии D .

Таблица 7. Значения σ , M_w , D_w на различных дальностях

Table 7. Values of σ , M_w , D_w at different ranges

№ дробы в патроне	σ , M_w (мс), D_w (мс) на различных дальностях		
	10 м	20 м	30 м
1	0,911; 2,76;1,4	2,992; 9,07;4,59	6,798; 20,62; 10,42
3	0,911; 2,86;1,36	3,252;10,21;4,85	7,283; 22,87;10,85
5	0,912; 3,1;1,27	2,995;10,17;4,18	6,806; 23,11;9,5

Таким образом, для рассмотренных в исследовании типов патронов при оценке математического ожидания по результатам одиночного выстрела погрешность может составить 20,5 % – у патрона с дробью № 5, 23,7 % – у патрона с дробью № 3, 25,3 % – у патрона с дробью № 1. Для уменьшения этих величин можно увеличить число выстрелов, по которым осуществляется оценка математического ожидания размаха. Если допустить, что формулы оценки ширины доверительного интервала для распределения размаха по времени дробового снопа и нормального распределения близки, то при увеличении числа выстрелов до четырех получим сокращение ширины доверительного интервала в два раза.

Заключение

Таким образом, была предложена методика, позволяющая получать функцию зависимости между параметром распределения Релея, описывающего дробовую сноп в направлении стрельбы во времени, и расстоянием от дульного среза на основе реальных данных с оптического датчика. В дальнейшем можно использовать полученные формулы для оценки размаха по времени дробового снопа на разных расстояниях.

В соответствии с предложенной методикой было проведено исследование, в результате которого была найдена зависимость коэффициента σ от расстояния для патронов, снаряженных дробью № 1, 3 и 5. Это позволит на основании полученных зависимостей создавать имитационную модель сигнала оптического датчика при пересечении дробовым снопом светового экрана на произвольном расстоянии для рассмотренных патронов.

Аналогичным образом, проведя дополнительные эксперименты, можно получить зависимости для различных типов патронов. При этом при проведении подобных экспериментов для получения более адекватной модели сигнала рекомендуется по возможности получать данные с большего числа световых экранов (пять и более). В дальнейшем, используя известные сведения о законе изменения скорости дробового снопа (либо эмпирические данные о скорости дробового снопа на определенных дальностях), можно получить приближенное значение длины дробового снопа на заданной дальности, а также, в целом, получить имитационную модель совокупности сигналов оптических датчиков световых экранов, установленных на стрелковой баллистической трассе.

Библиографические ссылки

1. Маркевич В. Е. Спортивное и охотничье стрелковое оружие. СПб. : Полигон, 2005. 256 с.
2. Концепция ручного стрелкового оружия для борьбы с беспилотными летательными аппаратами / Д. В. Чирков, М. А. Семенцов, Д. О. Луппов, И. Н. Гавшин // Перспективные направления развития артиллерийского вооружения, методов его эксплуатации и ремонта : сборник трудов XVII Всероссийской научно-практической конференции, Пермь, 25 мая 2023 года. Пермь : Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, 2023. С. 130–134.
3. Копылов Д. И., Никольский В. В. Анализ результатов обработки мишеней дробового выстрела // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 12-1. С. 8–12.
4. Погребной А. А. Методика определения дистанции выстрела из охотничьего ружья по наибольшему размеру дробовой осыпи // Судебная экспертиза. 2018. № 4 (56). С. 75–91.
5. Воронков Л. Ю. Установление дистанции выстрела по дробовой осыпи при отстреле патронов, снаряженных пыжами-контейнерами // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право. 2022. Т. 22, № 2. С. 210–215. DOI 10.18500/1994-2540-2022-22-2-210-215.
6. Марков Е. М., Вдовин А. Ю., Егоров С. Ф. Разработка модели дробовой осыпи для оценки равномерности с учетом параметров стрельбы // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2013. № 2. С. 103–105.
7. Блюм М. М. Охотничье ружье: справочник. 2-е изд. М. : Агропромиздат, 1987. 191 с.
8. Чирков Д. В., Федорова Е. А. К вопросу определения характеристик движения объекта на основе высокоскоростной видеосъемки // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 1. С. 53–63. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-1-53-63.
9. Писарев С. А., Чирков Д. В., Федорова Е. А. Анализ аббераций и способов минимизации их влияния на результаты исследований быстропротекающих динамических процессов с использованием видеокамеры высокоскоростной съемки // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 4. С. 6–15. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-4-6-15.
10. Чирков Д. В., Федорова Е. А. Опыт экспериментального определения элементов движения подвижных частей автоматики винтовки G3 на основе высокоскоростной видеосъемки // эМПиРиКА-2021 : материалы Всероссийской научно-технической и научно-методической конференции, посвященной 45-летию кафедр: «Машиностроение», «Приборостроение», «Робототехника и комплексная автоматизация», Ковров, 01–03 декабря 2021 года. Ковров Ковровская государственная технологическая академия имени В. А. Дегтярева, 2022. – С. 165–172.
11. Танг М. В., Динг Ю. Ч. Исследование процесса разрушения горной породы взрывом с помощью высокоскоростной видеосъемки // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2019. № 4. С. 67–73. DOI 10.15372/FTRPI20190408.
12. Знаменская И. А., Мурсенкова И. В., Дороженко И. А. Высокоскоростная регистрация импульсных плазодинамических процессов в течениях с разрывами // Оптические методы исследования потоков : труды XV Международной научно-технической конференции, Москва, 24–28 мая 2019 года. М. : Перо, 2019. С. 90–98.
13. Афанасьев В. А., Лялин В. Е. Проектирование информационно-измерительных систем на основе световых мишеней для контроля изделий стрелкового оружия по внешнебаллистическим параметрам : монография. Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2020. 364 с.
14. Afanasiev, V. A. Weight functions of light shield and the signal at the input of optical sensor at the intersection of the bullets of light shield / V. A. Afanasiev, A. Yu. Vdovin, I. G. Kornilov // Journal of Measurements in Engineering. 2019. Vol. 7, No. 2. – P. 74-83. – DOI 10.21595/jme.2019.20441. – EDN ZCCHQO.
15. J.-Y Yu, Y.-X Li, X.-M. Wang, "Measurement of impact points using reflective light screen target of single column light source," Optics and Precision Engineering. vol. 18, pp. 1354-1360, 2010.
16. Блюм М. М. Охотничье ружье : справочник. 2-е изд. М. : Агропромиздат, 1987. 191 с.
17. Compton D. J. An experimental and theoretical investigation of shot cloud ballistics : Doctoral thesis – London: University of London, 1996.
18. Вдовин А. Ю. Исследование плотности распределения размаха дробового снопа по времени для построения имитационной модели сигнала оптического датчика // Компьютерная оптика. 2021. Т. 45, № 5. С. 779–783. DOI 10.18287/2412-6179-CO-851.
19. Vdovin A. Yu. The Problems of Assessing Speed of Shot Sheaf System on the Basis of the Light Screens // Вестник полиции. – 2015. No. 1 (3). P. 34-38. DOI 10.13187/VesP.2015.3.34.
20. Vdovin A., Afanasyev A. Solving digital filtering problems in automated systems based on light screens // Proceedings of ITNT 2021 - 7th IEEE International Conference on Information Technology and Nanotechnology. Samara, 2021. P. 9649205. DOI 10.1109/ITNT52450.2021.9649205.
21. Compton D. J. An experimental and theoretical investigation of shot cloud ballistics : Doctoral thesis – London: University of London, 1996.
22. Пугачев В. С. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. М. : Физматлит, 2002. 496 с.

References

1. Markevich V.E. *Sportivnoe i ohotnich'e strelkovoje oruzhie* [Sporting and hunting small arms]. St. Petersburg, Polygon Publ., 2005, 256 p. (in Russ.).
2. Chirkov D.V., Semencov M.A., Luppov D.O., Gavshin I.N. *Koncepciya ruchnogo strelkovogo oruzhiya dlya bor'by s bespilotnymi letatel'nymi apparatami* [The concept of handheld small arms to combat unmanned aerial vehicles]. *Perspektivnye napravleniya razvitiya artillerijskogo vooruzheniya, metodov ego ekspluatcii i remonta: sbornik trudov XVII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Promising directions for the development of artillery armament, methods of its operation and repair: proceedings of the XVII All-Russian Scientific and Practical Conference]. Perm', 2023, pp.130-134 (in Russ.).
3. Kopylov D.I., Nikol'skii V.V. [Analysis of the results of processing shotgun targets]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskienauki*, 2016, no. 12-1, pp.8-12 (in Russ.).
4. Pogrebnoi A.A. [The method of determining the distance of a shot from a hunting rifle by the largest size of the shot scree]. *Sudebnaya ekspertiza*, 2018, no. 4 (56). Pp.75-91 (in Russ.).
5. Voronkov L.Yu. [Setting the distance of a shot on a shot scree when shooting cartridges loaded with wads-containers]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Ekonomika. Upravlenie. Pravo*, 2022, vol. 22, no 2, pp. 210-215 (in Russ.).
6. Markov E. M., Vdovin A. YU., Egorov S. F. [Development of a shotgun scree model to assess uniformity

taking into account shooting parameters]. *Vestnik IzhGTU imeni*

M. T. Kalashnikova, 2013. no. 2, pp. 103-105 (in Russ.).

7. Blyum M.M. *Ohotnich'e ruzh'e: spravochnik* [Hunting rifle: a reference book]. 2nd ed. Moscow, Agropromizdat, 1987, 191 p. (in Russ.).

8. Chirkov D.V., Fedorova E.A. [On the issue of determining the characteristics of object movement based on high-speed video recording]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2020. Vol. 24, no. 1, pp. 53-63. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-1-53-63 (in Russ.).

9. Pisarev S.A., Chirkov D.V., Fedorova E.A. [About the Influence of Optical Distortions in the Research of Quick Flowing Dynamic Processes Using a High-Speed Video Camera]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2020, vol. 23, no. 4, pp. 6-15 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2020-4-6-15.

10. Chirkov D.V., Fedorova E.A. Opyt eksperimental'nogo opredeleniya elementov dvizheniya podviznykh chastei avtomatiki vintovki G3 na osnove vysokoskorostnoi videos"emki [The experience of experimental determination of the movement elements of the moving parts of the G3 rifle automation based on high-speed video recording]. eMPiRiKA-2021 : materialy Vserossiiskoi nauchno-tehnicheskoi I nauchno-metodicheskoi konferentsii, posvyashchennoi 45-letiyu kafedr: «Mashinostroeniye», «Priborostroeniye», «Robototekhnika i kompleksnaya avtomatizatsiya» [Empirica-2021: materials of the All-Russian Scientific, Technical and scientific-methodological conference dedicated to the 45th anniversary of the departments: "Mechanical engineering", "Instrument Engineering", "Robotics and complex automation"]. Kovrov, 2022. pp. 165-172 (in Russ.).

11. Tang M.V., Ding Yu.Ch. [Investigation of the process of rock destruction by explosion using high-speed video recording]. *Fiziko-tehnicheskiesproblemyrazrabotkipoleznykhiskopaemykh*, 2019, no. 4, pp. 67-73 (in Russ.). DOI 10.15372/FTPRPI20190408.

12. Znamenskaya I.A., Mursenkova I.V., Doroshchenko I.A. Vysokoskorostnaya registratsiya impul'snykh plazmodinamicheskikh protsessov v techeniyakh s razryvami [High-speed recording of pulsed plasmodynamic processes in discontinuous flows]. *Opticheskie metody issledovaniya potokov : trudy XV Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii* [Optical flow research methods : proceedings of the XV International Scientific and Technical Conference].

Moscow, 2019. Pp. 90-98 (in Russ.).

13. Afanas'ev V.A., Lyalin V.E. *Proektirovaniye informacionno-izmeritel'nykh sistem na osnove svetovoyh mishenej dlya kontrolya izdelij strelkovogo oruzhiya po vneshneballisticheskim parametram* [Design of information and measurement systems based on light targets for the control of small arms products according to external ballistic parameters]. Izhevsk, Izd-vo IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova, 2020, 364 p. (in Russ.).

14. Afanasiev V.A. Weight functions of light shield and the signal at the input of optical sensor at the intersection of the bullets of light shield / V. A. Afanasiev, A. Yu. Vdovin, I. G. Kornilov // *Journal of Measurements in Engineering*. 2019. Vol. 7, No. 2. P. 74-83. DOI 10.21595/jme.2019.20441.

15. J.-Y Yu, Y.-X Li, X.-M. Wang, "Measurement of impact points using reflective light screen target of single column light source," *Optics and Precision Engineering*. vol. 18, pp. 1354-1360, 2010.

16. Blyum M.M. *Ohotnich'e ruzh'e: spravochnik* [Hunting rifle: a reference book]. 2nd ed. Moscow, Agropromizdat, 1987, 191 p. (in Russ.).

17. Compton D.J. An experimental and theoretical investigation of shot cloud ballistics. London: University of London. Doctoral thesis. 1996. 288 p.

18. Vdovin A.Yu. [Investigation of the density of the distribution of the shot sheaf span over time to build a simulation model of the optical sensor signal]. *Computer optics*. 2021. Vol. 45, no. 5, pp. 779-783 (in Russ.). DOI 10.18287/2412-6179-CO-851.

19. Vdovin A.Yu. [The Problems of Assessing Speed of Shot Sheaf System on the Basis of the Light Screens], *Vestnik politsii*, 2015, No. 1(3), pp. 34-38. DOI 10.13187/VesP.2015.3.34.

20. Vdovin A., Afanasyev A. Solving digital filtering problems in automated systems based on light screens, *Proceedings of ITNT 2021 - 7th IEEE International Conference on Information Technology and Nanotechnology*. Samara, 2021. P. 9649205. DOI 10.1109/ITNT52450.2021.9649205.

21. *Compton D.J.* An experimental and theoretical investigation of shot cloud ballistics : Doctoral thesis – London: University of London, 1996.

22. Pugachev V.S. *Teoriya veroyatnostej I matematicheskaya statistika : ucheb. posobie* [Probability theory and mathematical statistics]. Moscow, Fizmatlit Publ. 2002. 496 p. (in Russ.).

* * *

The Method for Obtaining Shot Cloud Time Span and Range Dependence

A. Yu. Vdovin, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia
E. A. Podshivalova, Master's Degree Student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

When studying the behavior of a shot cloud in space, a variety of information and measurement systems can be applied, for example, based on light screens (photoelectronic blocking devices of a small ballistic measuring installation consisting of a linear emitter and an optical sensor based on a photodiode). To study the process of shot cloud movement in space and to assess its parameters (for example, length at a given range from the muzzle) correctly, it is advisable to have a simulation model of the optical sensor signal when the light screen is crossed by a shot cloud. Taking into account previous studies, it is necessary to know the magnitude of the scale parameter in the Rayleigh distribution describing the shot cloud in the direction of firing in time in order to obtain a similar model at some distance from the muzzle.

A method that allows obtaining function of dependence of the mentioned scale parameter and the distance from the muzzle and based on real data from several optical sensors of light screens installed on the shooting track is proposed. The example of application the proposed method to obtain similar functions based on the results of processing optical sensor signals obtained in real experiments for cartridges loaded with three different shot types is given. The obtained dependences were approximated by polynomials of the first and second degree using the least squares method, and the error was estimated for various types of cartridges. Based on the obtained results, specific recommendations for the practical application of the developed method are proposed. The estimation of the confidence interval width for the expectation function of

the shot cloud time span is performed. The ways of creating advanced signal simulation models from optical sensors of light screens when shooting with shot are outlined.

Keywords: shot cloud, time span, light screen, optical sensor, signal, simulation model, Rayleigh distribution.

Получено: 19.03.24

Образец цитирования

Вдовин А. Ю., Подшивалова Е. А. Методика получения зависимости размаха по времени дробового снопа от дальности // Интеллектуальные системы в производстве. 2024. Т. 22, № 3. С. 55–61. DOI: 10.22213/2410-9304-2024-3-55-61.

For Citation

Vdovin A.Yu., Podshivalova E.A. [The method for obtaining shot cloud time span and range dependence]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2024, vol. 22, no. 3, pp. 55-61. DOI: 10.22213/2410-9304-2024-3-55-61.