

DOI: 10.21122/2220-9506-2025-16-4-386-394

Разработка методики оценки моментов времени начала пересечения дробовым снопом последовательности световых экранов

А.Ю. Вдовин, Е.А. Подшивалова

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова,
ул. Студенческая, 7, г. Ижевск 426069, Россия

Поступила 24.02.2025

Принята к печати 29.09.2025

При исследовании процесса перемещения дробового снопа в пространстве могут использоваться разнообразные устройства, например, световые экраны. Для подобных исследований целесообразно иметь имитационную модель совокупности сигналов оптического датчика при пересечении световых экранов дробовым снопом. С учётом ранее проведённых исследований для получения подобной модели необходимо знать моменты времени начала пересечения дробовым снопом световых экранов (фактически – моменты пересечения световых экранов самой быстрой дробиной). Предложена методика, позволяющая для заданных начальных условий (размеров дроби, начальной скорости и др.) определять такие моменты для последовательности световых экранов, установленных на заданных дальностях от дульного среза оружия. Суть предлагаемой методики сводится к тому, что на основе решения системы дифференциальных уравнений внешней баллистики рассчитывается совокупность точек, соответствующих зависимости времени достижения дробиной заданной дальности от величины этой дальности. Далее проводится аппроксимация полученных зависимостей полиномами первой, второй и третьей степени по методу наименьших квадратов. Выполнена оценка погрешности аппроксимации полученными полиномами для различных типов патронов. Приведён пример использования предложенной методики для получения моментов времени начала пересечения дробовым снопом для патронов, снаряжённых дробью трёх различных типов. Кроме того, выполнена оценка погрешности полученных зависимостей по отношению к результатам реальных экспериментов. Показано, что на дальностях до 24 м относительная погрешность не превышает 4 % для всех типов патронов. На основании полученных результатов предложены конкретные рекомендации по практическому использованию разработанной методики. В дальнейшем с использованием предложенной методики возможно создание имитационной модели совокупности сигналов оптических датчиков при пересечении дробовым снопом набора световых экранов, расположенных на заданных дальностях от дульного среза оружия.

Ключевые слова: дробовой снап, размах по времени, световой экран, оптический датчик, сигнал

Адрес для переписки:

Вдовин А.Ю.
Ижевский государственный технический университет,
ул. Студенческая, 7, г. Ижевск 426069, Россия
e-mail: vd_aleks@mail.ru

Address for correspondence:

Vdovin A.Yu.
Kalashnikov Izhevsk State Technical University,
Studencheskaya str., 7, Izhevsk 426069, Russia
e-mail: vd_aleks@mail.ru

Для цитирования:

А.Ю. Вдовин, Е.А. Подшивалова.
Разработка методики оценки моментов времени начала пересечения дробовым снопом последовательности световых экранов.
Приборы и методы измерений.
2025. Т. 16. № 4. С. 386–394.
DOI: 10.21122/2220-9506-2025-16-4-386-394

For citation:

Vdovin AYu, Podshivalova EA.
Development of a Methodology for Estimation the Starting Moments of a Set of Light Screens' Intersection with a Shot Cloud
Devices and Methods of Measurements.
2025;16(4):386–394. (In Russ.).
DOI: 10.21122/2220-9506-2025-16-4-386-394

DOI: 10.21122/2220-9506-2025-16-4-386-394

Development of a Methodology for Estimation the Starting Moments of a Set of Light Screens' Intersection with a Shot Cloud

A.Yu. Vdovin, E.A. Podshivalova

Kalashnikov Izhevsk State Technical University,
Studencheskaya str., 7, Izhevsk 426069, Russia

Received 24.02.2025

Accepted for publication 29.09.2025

Abstract

When studying the process of moving a shot cloud in space, various devices can be used, for example, light screens. For such studies, it is advisable to have a simulation model of the set of optical sensor signals at the intersection of light screens with a shot cloud. Taking into account previous studies, in order to obtain such a model, it is necessary to know the time points of the beginning of the intersection of the shot cloud of light screens (in fact, the moments of the intersection of light screens with the fastest pellet). A technique is proposed that allows for given initial conditions (fraction size, initial velocity, etc.) to determine such moments for a set of light screens installed at specified ranges from the muzzle of the weapon. The essence of the proposed technique is that on the basis of solving a system of differential equations of external ballistics, a set of points is calculated corresponding to the dependence of the time when a fraction reaches a given range on the magnitude of this range. Next, the obtained dependencies are approximated by polynomials of the first, second and third degrees using the least squares method. The estimation of the approximation error by various polynomials for different types of cartridges is performed. An example of using the proposed technique to obtain the time points of the beginning of the intersection with a shot cloud for cartridges loaded with three different types of shot is given. In addition, the estimation of the error of the obtained dependencies in relation to the results of real experiments was performed. It is shown that at ranges up to 24 m, the relative error does not exceed 4 % for all types of cartridges. Based on the results obtained, specific recommendations for the practical use of the developed methodology are proposed. In the future, using the proposed technique, it is possible to create a simulation model of a set of optical sensor signals when a shot cloud crosses a set of light screens located at specified ranges from the muzzle of the weapon.

Keywords: shot cloud, time span, light screen, optical sensor, signal

Адрес для переписки:

Вдовин А.Ю.
Ижевский государственный технический университет,
ул. Студенческая, 7, г. Ижевск 426069, Россия
e-mail: vd_aleks@mail.ru

Address for correspondence:

Vdovin A.Yu.
Kalashnikov Izhevsk State Technical University,
Studencheskaya str., 7, Izhevsk 426069, Russia
e-mail: vd_aleks@mail.ru

Для цитирования:

А.Ю. Вдовин, Е. А.Подшивалова.
Разработка методики оценки моментов времени начала пересечения
дробовым снопом последовательности световых экранов.
Приборы и методы измерений.
2025. Т. 16. № 4. С. 386-394.
DOI: 10.21122/2220-9506-2025-16-4-386-394

For citation:

Vdovin AYu, Podshivalova EA.
Development of a Methodology for Estimation the Starting Moments
of a Set of Light Screens' Intersection with a Shot Cloud
Devices and Methods of Measurements.
2025;16(4):386-394. (In Russ.).
DOI: 10.21122/2220-9506-2025-16-4-386-394

Введение

Дробовое оружие широко применяют охотники и спортсмены всего мира [1, 2], его разрешено использовать как оружие самообороны [3], известны также исследования, посвящённые возможности использования подобного оружия для борьбы с малоразмерными БПЛА [4–6].

При исследованиях движения дробового снопа в пространстве применяют разнообразные технические решения, в частности, датчики удара, ПЗС- и КМОП-видеокамеры [7, 8], в том числе высокоскоростные [9]. Используют также оптические блокирующие устройства, например, световые экраны [10]. Световой экран – устройство, состоящее из оптического датчика (на основе фотоприёмного устройства) и линейного излучателя. Принцип действия устройства основан на том, что при затенении светового потока движущимся объектом на выходе датчика формируется электрический импульс [10–13].

При этом ранее проведённые исследования [14] 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 . На основе указанных исследований была разработана методика получения зависимости между величиной σ (и, соответственно, величиной размаха по времени дробового снопа) и дальностью расположения светового экрана от дульного среза оружия [15].

Основным недостатком этой методики является отсутствие возможности получения целостной картины процесса пересечения световых экранов дробовым снопом (с привязкой моментов начала сигналов оптических датчиков к некоему общему моменту старта измерений). Естественным продолжением упомянутого исследования является разработка методики получения модели совокупности сигналов оптических датчиков световых экранов, устраняющей этот недостаток. Это возможно осуществить с помощью расчёта моментов времени начала пересечения дробовым снопом световых экранов по системе уравнений внешней баллистики, в которой в качестве закона сопротивления воздуха выбран закон

сопротивления для сферического снаряда. Разработка методики расчёта таких моментов времени являлась целью данной работы.

Расчёт начальных моментов пересечения дробовым снопом световых экранов и аппроксимация полученных зависимостей

Во внешней баллистике принята правая система координат XYZ , плоскость XY которой составляет угол ψ с плоскостью стрельбы X^*Y , ось OX горизонтальна и ориентирована по направлению стрельбы, ось OY вертикальна, ось OZ направлена вправо [16, 17], как показано на рисунке 1.

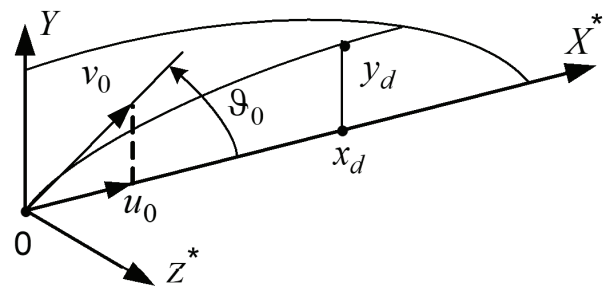


Рисунок 1 – Система координат, связанная с плоскостью стрельбы: v_0 – начальная скорость; θ_0 – угол бросания; x_d – дальность стрельбы; y_d – вертикальная координата на дальности x_d

Figure 1 – The coordinate system associated with the firing plane: v_0 – initial velocity; θ_0 – throwing angle; x_d – firing range; y_d – vertical coordinate at range x_d

Существуют три вида систем уравнений движения пули в зависимости от аргумента (x – дальность; t – время; θ – угол наклона вектора скорости на траектории), из которых приведём первую (1) [16, 18]:

$$\begin{aligned} \frac{du}{dx} &= -cH(y)G(V); \\ \frac{d\gamma}{dx} &= -\frac{g}{u^2}; \\ \frac{dy}{dx} &= \gamma = \tan \theta; \\ \frac{dt}{dx} &= \frac{1}{u}; \quad V = u\sqrt{1+\gamma^2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $u = V \cos \theta = V/\sqrt{1+\gamma^2}$ – проекция скорости на ось OX ; $\gamma = \tan \theta$ – тангенс угла наклона вектора скорости; $g = 9,8065 \text{ м/с}^2$ – ускорение

силы тяжести; $H(y)=\Pi(y)/\Pi_0$ – отношение плотности воздуха на высоте y к плотности воздуха при нормальной атмосфере (в нашем случае $H(y)=1$), $G(v)$ – эталонная функция сопротивления.

Так как для уменьшения истирания и смятия дроби при движении по каналу ствола в настоящее время применяют пластиковые пыжи-контейнеры [1–3, 19], будем пренебрегать деформацией дроби (по крайней мере, самых быстрых дробинок) и считать, что изначально сферическая форма дробинок не изменяется.

Параметры дроби

Parameters of the pellets

№ дроби № pellets	Диаметр дробины, мм Diameter of the pellet, mm	Масса дробины, г The mass of the pellet, g	с, м ² /кг с, m ² /kg
№ 1	4.00	0.368	20.435
№ 3	3.50	0.250	23.03
№ 5	3.00	0.160	26.438

В системе уравнений внешней баллистики (1) в качестве эталонной функции сопротивления $G(v)$ используем функцию для объектов, имеющих форму шара; с учётом рассчитанного значения баллистического коэффициента для дроби № 3 ($V_0 = 400$ м/с; $\gamma_0 = 0$) получаем график зависимости времени достижения заданной дальности первой дробиной снопа t_s от дальности (рисунок 2).

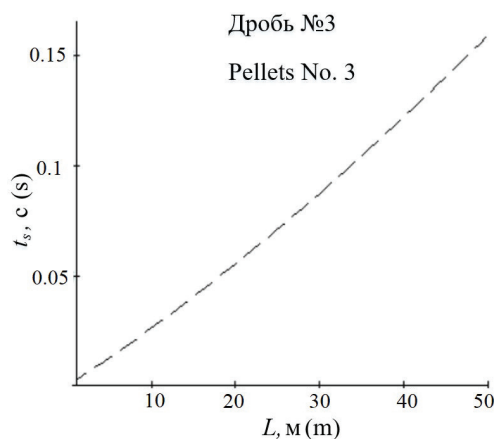


Рисунок 2 – Зависимость времени достижения дроби заданной дальности от величины этой дальности

Figure 2 – The dependence of the time when a fraction reaches a given range on the value of this range

Выполняем аппроксимацию для дроби № 1, № 3, № 5 (при таких же начальных усло-

В этом случае баллистический коэффициент c для отдельной дробины можно определить по формуле (2) [17, 18]:

$$c = \frac{i \cdot d^2 \cdot 10^3}{q}, \quad (2)$$

где d – диаметр дробины; i – коэффициент аэродинамической формы снаряда (для снаряда сферической формы – 0,47); q – масса дробины.

В таблице 1 представлены параметры дробинок нескольких типов (№ 1, № 3, № 5) [1] и рассчитанные значения баллистических коэффициентов.

Таблица 1 / Table 1

виях) полиномами 1-й степени, графики которых представлены на рисунке 3.

Аналогично выполняем аппроксимацию полиномами 2-й и 3-й степени, их графики не приводятся в связи с тем, что они визуально повторяют форму исходного графика.

Полученные формулы аппроксимации представлены в таблицах 2–4.

Таблица 2 / Table 2

Полиномы, аппроксимирующие зависимость времени достижения дробию заданной дальности от величины этой дальности для дроби № 1

Polynomials approximating the dependence of the time for a fraction to reach a given range on the value of this range for pellets No. 1

Степень полинома Degree of the polynomial	Аппроксимирующие полиномы Approximating polynomials
1	$t_s = 10^{-5}(-495.062 + 310.893L)$
2	$t_s = 10^{-5}(-3.213 + 250.667L + 1.205L^2)$
3	$t_s = 10^{-5}(1.036 + 249.594L + 1.259L^2 - 0.001L^3)$

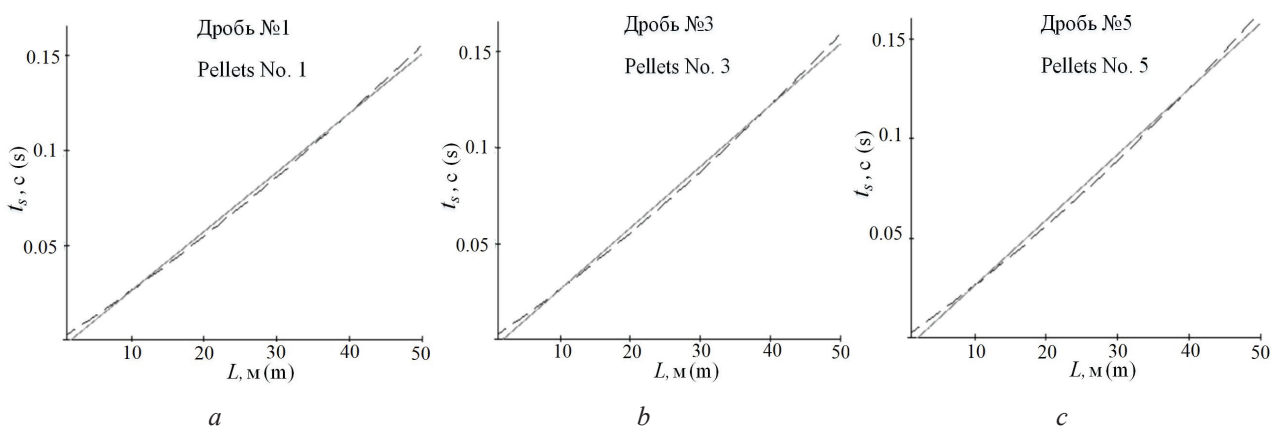


Рисунок 3 – Зависимость времени достижения дробью заданной дальности от величины этой дальности и её аппроксимация полиномами 1-й степени для разных типов патронов: *a* – дробь № 1; *b* – дробь № 3; *c* – дробь № 5
Figure 3 – The dependence of the time for a fraction to reach a given range on the value of this range and its approximation by polynomials of 1st degree for different types of cartridges: *a* – pellets No. 1; *b* – pellets No. 3; *c* – pellets No. 5

Таблица 3 / Table 3
Полиномы, аппроксимирующие зависимость времени достижения дробью заданной дальности от величины этой дальности для дроби № 3
Polynomials approximating the dependence of the time for a fraction to reach a given range on the value of this range for pellets No. 3

Степень полинома Degree of the polynomial	Аппроксимирующие полиномы Approximating polynomials
1	$t_s = 10^{-5}(-554.852+318.395L)$
2	$t_s = 10^{-5}(-5.349+251.109L+1.346L^2)$
3	$t_s = 10^{-5}(1.627+249.347L+1.435L^2-0.001L^3)$

Таблица 4 / Table 4
Полиномы, аппроксимирующие зависимость времени достижения дробью заданной дальности от величины этой дальности для дроби № 5
Polynomials approximating the dependence of the time for a fraction to reach a given range on the value of this range for pellets No. 5

Степень полинома Degree of the polynomial	Аппроксимирующие полиномы Approximating polynomials
1	$t_s = 10^{-5}(-631.464+328.093L)$
2	$t_s = 10^{-5}(-8.792+251.848L+1.525L^2)$
3	$t_s = 10^{-5}(2.176+249.077L+1.665L^2-0.002L^3)$

Для оценки точности аппроксимации можно использовать среднеквадратическое отклонение (3):

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (s_i - f_i)^2}, \quad (3)$$

где $n = 50$ – количество точек; s – совокупность значений исходной функции в заданных точках; f – совокупность значений в заданных точках, полученных с помощью аппроксимации.

Рассчитанные параметры представлены в таблице 5.

Таблица 5 / Table 5
Среднеквадратические отклонения для оценки точности аппроксимации
Standard deviations for estimating the accuracy of an approximation

Номер дроби № pellets	Степень полинома Degree of the polynomial	$\sigma_m \cdot 10^{-3}$
№ 1	1	2.356
	2	0.02
	3	0.133
№ 3	1	2.633
	2	0.031
	3	0.095
№ 5	1	2.983
	2	0.048
	3	0.064

Результаты, приведённые в таблице 5, показывают, что минимальные значения

среднеквадратических отклонений во всех трёх случаях наблюдаются у полиномов второй степени (по всей видимости, это связано с округлением коэффициентов полиномов, так как в ином случае при увеличении степени полинома погрешность бы уменьшалась). В связи с этим, целесообразно использовать полиномы второй степени.

Сопоставление с экспериментальными данными

Кроме того, осуществим сопоставление полученных результатов с экспериментально полученными данными. Световые экраны были 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, соединённому с ПК. Анализируемый сигнал был сильно зашумлен, поэтому применялись специальные алгоритмы цифровой фильтрации [13].

Расчёт производился на основе одиннадцати файлов, содержащих сигналы оптического датчика, полученные при стрельбе из ружья Сайга-12К патронами, снаряжёнными дробью различного типа (№ 1, 3, 5). Условия стрельбы были близки к заданным начальным условиям в полученной модели (аппроксимации значений, полученных при решении системы уравнений внешней баллистики). Так как датчик начала отсчёта не использовался, оценивались моменты времени пересечения первыми дробинами второго, третьего и четвёртого световых экранов относительно первого экрана – соответственно t_{21} , t_{31} , t_{41} , затем они усреднялись для патронов одного типа.

Таблица 6 / Table 6

Усредненные относительные времена достижения первыми дробинами световых экранов

The average relative times for the first pellets to reach the light screens

№ дроби № pellets	t_{21} , мс t_{21} , ms	t_{31} , мс t_{31} , ms	t_{41} , мс t_{41} , ms
№ 1	10.33	41.80	53.27
№ 3	10.30	42.53	54.00
№ 5	10.74	44.35	58.83

При реальной стрельбе момент выстрела был неизвестен, поэтому для получения возможности сопоставления результатов будем в качестве времени t_1 достижения первой дробиной первого светового экрана задавать время, оценённое по полученной модели для соответствующей дальности, и значения из таблицы 6 будем отсчитывать относительно этого времени. Рассчитанные значения относительных погрешностей сведены в таблицу 7.

Таким образом, погрешность оценки моментов времени достижения наиболее быстрыми в заряде дробинами световых экранов по полученной модели в сравнении с реальными данными на дальностях до 24 м не превышает 4 % для всех рассматриваемых типов патронов.

Таблица 7 / Table 7

Относительная погрешность оценки времени по модели для различных дальностей

Relative error in estimating the time according to the model for different ranges

№ дроби № pellets	Относительная погрешность для различных дальностей, % Relative error for different ranges, %		
	x_2	x_3	x_4
1	1.60	2.15	0.8
3	0.58	0.33	1.49
5	1.50	1.68	3.59

Общая идея методики расчёта начальных моментов пересечения дробовым снопом совокупности световых экранов

Таким образом, предлагается осуществлять расчёт моментов начала пересечения светового экрана дробовым снопом по формулам для полиномов второй степени из таблиц 2–4, которые являются аппроксимацией функций, использующих для расчёта t_s систему уравнений внешней баллистики. Аналогично, для патронов, снаряжённых дробью других типов, необходимо осуществить оценку баллистического коэффициента, подставить полученное значение в систему уравнений внешней

баллистики и аппроксимировать полученное значение полиномом второй степени, что позволит получить достаточно простую аналитическую зависимость t_s от дальности расположения светового экрана.

Моменты, полученные по предложенной методике, можно использовать в качестве моментов начала пересечения дробовым снопом световых экранов (т.е. момента пересечения светового экрана первой – самой быстрой дробинкой). Далее, имея для заданной дальности значение параметра масштаба σ [15], можно сгенерировать выборку моментов времени пересечения светового экрана последующими дробинами относительно первой.

Заключение

Разработана методика получения совокупности моментов начала пересечения дробовым снопом световых экранов, размещённых на стрелковой трассе. В совокупности с ранее разработанной методикой получения зависимости размаха по времени дробового снопа от дальности полученные результаты позволят в дальнейшем создать модель совокупности сигналов оптических датчиков при пересечении дробовым снопом набора световых экранов, расположенных на заданных дальностях от дульного среза оружия. Подобная модель позволит упростить анализ поведения дробового снопа в пространстве без проведения стрельб, в частности, с помощью такой модели можно будет осуществлять оценку точности различных алгоритмов расчёта скорости дробового снопа с помощью световых экранов.

Список использованных источников

1. Арбузов, И.А. Математический анализ дробового выстрела / И.А. Арбузов. Москва: Спутник+, 2006. – 31 с.
2. Трофимов В. Н. Комбинированные охотничьи и спортивные гладкоствольные ружья. М.: «Издательский дом Рученькиных», 2005. – 208 с.
3. Черников, В. В. Личное оружие самообороны. М: Проспект, 2017. – 104 с.
4. Макаренко, С.И. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 2. Огневое поражение и физический перехват / С.И. Макаренко, А.В. Тимошенко //

Системы управления, связи и безопасности. – 2020. – № 1. – С. 147-197.

DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10106

5. 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: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации», 2023. – С. 130-134.

6. Чирков, Д.В. Способы борьбы с беспилотными летательными аппаратами с использованием стрелково-пушечного вооружения / Д.В. Чирков, М.А. Семенцов // Проблемы развития стрелковой отрасли в Российской Федерации : Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Ижевск, 15 марта 2024 года. – Ижевск: Издательство УИР ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2024. – С. 100-113.

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

8. Марков, Е.М. Разработка мобильной телевизионной системы для измерения параметров дробового выстрела на основе камеры видеонаблюдения / Е.М. Марков, А.Ю. Вдовин // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2014. – № 4(64). – С. 121-123.

9. 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

10. Афанасьев, В.А. Источники излучения для световых экранов / В.А. Афанасьев, Н.Ю. Афанасьева, В.Н. Коротаев // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2007. – № 3(35). – С. 51-53.

11. 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.

12. Патент № 2279035 С1 Российская Федерация, МПК F42В 35/00, G01Р 3/68. Устройство для определения внешнебаллистических параметров метательного элемента с помощью световых

экранов: № 2005100994/02: заявл. 18.01.2005: опубл. 27.06.2006 / Н.Ю. Афанасьева, В.А. Афанасьев, Ю.В. Веркиенко [и др.]; заявитель Институт прикладной механики УрО РАН.

13. Vdovin, A. Solving digital filtering problems in automated systems based on light screens / A. Vdovin, V. Afanasyev // Proceedings of ITNT 2021 – 7th IEEE International Conference on Information Technology and Nanotechnology: 7, Samara, 20–24 сентября 2021 года. – Samara, 2021. – P. 9649205.

DOI: 10.1109/ITNT52450.2021.9649205

14. Вдовин, А.Ю. Исследование плотности распределения размаха дробового снопа по времени для построения имитационной модели сигнала оптического датчика / А.Ю. Вдовин // Компьютерная оптика. – 2021. – Т. 45, № 5. – С. 779-783.

DOI: 10.18287/2412-6179-CO-851

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

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

16. Дмитриевский, А.А., Лысенко, Л.Н. Внешняя баллистика. – М.: Машиностроение, 2005. – 608 с.

17. Лысенко, Л.Н. Внешняя баллистика. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 328 с.

18. Коновалов, А.А., Николаев Ю.В. Внешняя баллистика. – Ижевск: Изд. ИПМ УрО РАН, 2003. – 191 с.

19. Патент на полезную модель № 145960 U1 Российская Федерация, МПК F42В 7/04, F42В 7/08. Пыж-контейнер для дробовых снарядов: № 2014112573/11: заявл. 01.04.2014 : опубл. 27.09.2014 / В.А. Зыков, М.А. Кислин; заявитель Открытое акционерное общество Новосибирский механический завод "Искра".

References

1. Arbuzov IA. Mathematical analysis of a shotgun shot. Moscow: Sputnik+, 2006. 31p.

2. Trofimov VN. Hunting ammunition and ammunition for hunting rifles. Moscow: "Izdatel'skii Dom Ruchen'kinykh" Pub.; 2005. 208 p.

3. Chernikov VV. Personal Self-Defense Weapons. Moscow: Prospect. 2017. 104 p.

4. Makarenko SI. Analysis of means and methods of countering unmanned aerial vehicles. Part 2. Fire damage and physical interception, Management, communication and security systems, 2020;1:147-197. (In Russ.).

5. Chirkov DV, Semencov MA, Luppov DO, Gavshin IN. The concept of hand-held small arms to com-

bat unmanned aerial vehicles. 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', 2023:130-134. (In Russ.).

6. Chirkov DV, Semencov MA. Methods of combating unmanned aerial vehicles using small arms and cannon weapons. Problems of the development of the shooting industry in the Russian Federation. Materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference, Izhevsk, 2024:100-113. (In Russ.).

7. Compton DJ. An experimental and theoretical investigation of shot cloud ballistics. London: University of London. Doctoral thesis. 1996:288 p.

8. Markov EM, Vdovin AYU. Development of a mobile television system for measuring shotgun parameters based on a video surveillance camera], Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova. 2014;64(4):121-123. (In Russ.).

9. Chirkov DV, Fedorova EA. On the issue of determining the characteristics of object movement based on high-speed video recording. Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova, 2020. V. 24, no. 1, pp. 53–63. (In Russ.).

DOI: 10.22213/2413-1172-2021-1-53-63

10. Afanasyev VA, Afanasyeva NYu, Korotaev VN. Glow sources for light screens, Vestnik IzhGTU. 2007;3(35):51-53.

11. Afanas'ev VA, Lyalin VE. 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.).

12. Afanas'eva NYu, Afanas'ev VA, Verkienko YuV. A device for determining the external ballistic parameters of a propellant element using light screens. Patent RU 2279035 C1.

13. Vdovin A. Solving digital filtering problems in automated systems based on light screens / A. Vdovin, V. Afanasyev // Proceedings of ITNT 2021. 7th IEEE International Conference on Information Technology and Nanotechnology. 2021:9649205 p.

DOI: 10.1109/ITNT52450.2021.9649205

14. Vdovin AYU. 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;45(5):779-783. (In Russ.).

DOI: 10.18287/2412-6179-CO-851

15. Vdovin AY, Podshivalova EA. The method for obtaining shot cloud time span and range dependence. Intelligent Systems in Manufacturing. 2024;22(3):55–61. (In Russ.). **DOI:** 10.22213/2410-9304-2024-3-55-61

16. Dmitrievskij AA, Lysenko LN. External Ballistic. Moscow, Mashinostrenie. 2005. 608 p.

17. Lysenko LN. External Ballistic. Moscow, Izdatel'stvo MGGU im. N.E. Baumana. 2018:328 p.

18. Kononov AA, Nikolaev YuV. External Ballistic. Izhevsk, Institute of Applied Mechanics of the

Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2003:192 p.

19. Zykov V., Kislin MA. Wad-container for shotguns. Patent RU 145960 U1.