

УДК 681.518.3+623.546

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

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

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛОЖЕНИЯ СВЕТОВЫХ ЭКРАНОВ В СИСТЕМАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ И БАЛЛИСТИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

Статья посвящена определению оптимального положения световых экранов в системах с использованием лазерного излучателя, применяемых для определения скорости пули.

Ключевые слова: оптимизация, световой экран, лазерный излучатель, датчик начала отсчета, внешняя баллистика.

Автоматизированные системы для определения внешнебаллистических параметров, в том числе скорости и баллистического коэффициента пули, создаются на основе бесконтактных блокирующих устройств (акустических, оптико-электронных, соленоидных) [1–5]. Широкое распространение получили оптико-электронные системы на основе световых экранов [4–7]. К настоящему времени разработана методика, позволяющая определять начальную скорость и баллистический коэффициент без применения численного интегрирования уравнений внешней баллистики, используя лишь 3–4 световых экрана [8, 9]. Одним из недостатков подобных систем является невозможность в ряде случаев использования светового экрана в непосредственной близости от дульного среза испытываемого образца оружия [5]. Кроме того, при использовании таких систем необходимо учитывать, что на практике по ряду причин [4, 5] почти невозможно измерить точное расстояние между двумя световыми экранами. Все эти обстоятельства обуславливают дополнительную погрешность определения внешнебаллистических параметров.

Проведенные исследования показали, что для упрощения и удешевления системы в качестве датчика начала отсчета (ДНО) возможно применение конструкции из фотодиода и лазерного излучателя [10, 11]. Кроме того, положение лазерного луча в пространстве можно измерить с существенно большей точностью, чем положение светового экрана, поэтому при подобной компоновке системы мы можем умень-

шить погрешности определения внешнебаллистических параметров. Однако при использовании огнестрельного оружия применение датчика подобного типа в непосредственной близости от дульного среза невозможно в связи с тем, что датчик будет фиксировать момент вылета из ствола не только пули, но и продуктов сгорания пороха. Тем не менее такой датчик может быть использован на малых (до 1–2 м) расстояниях от дульного среза, так как, с одной стороны, при условии жестко закрепленного ствола оружия возможно гарантированно обеспечить срабатывание ДНО, а с другой стороны, датчик при таком расположении будет срабатывать только при пересечении лазерного луча пулей.

Для варианта с использованием трех световых экранов проводились исследования оптимальности их положения, обеспечивающего минимальные погрешности определения скорости и баллистического коэффициента [5, 12].

Оценим потенциально возможное повышение точности подобных систем, которого можно добиться путем замены первого светового экрана датчиком начала отсчета на основе фотоприемника и источника лазерного излучения (рис. 1).

В пакете Mathcad была разработана математическая модель баллистического комплекса на основе ДНО предложенного типа и двух световых экранов. Результаты моделирования сопоставлялись с результатами моделирования баллистического комплекса на основе трех световых экранов. Положение светового экрана в пространстве показано на рис. 2.

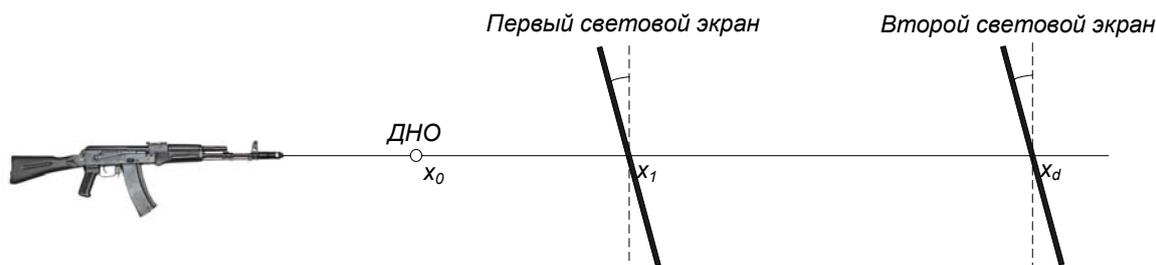


Рис. 1. Схема расположения ДНО и световых экранов

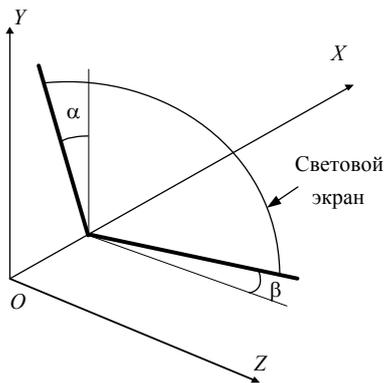


Рис. 2. Положение светового экрана в пространстве

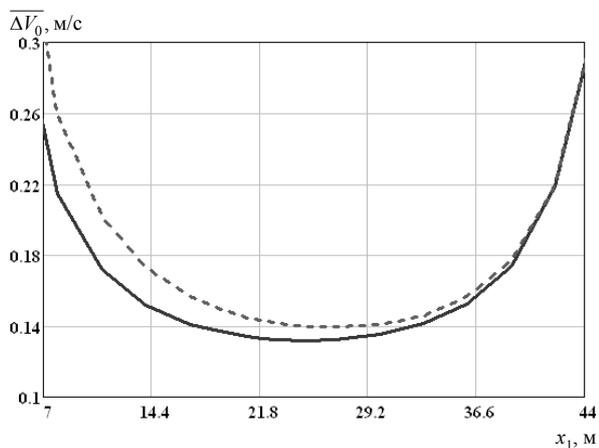
Моделирование выполнялось исходя из справочных данных [13, 14] для начальной скорости и баллистического коэффициента наиболее распространенных типов патронов. В модели использовался закон сопротивления Сиауччи, для отдельных диапазонов скоростей применялась аппроксимация функции сопротивления линейными зависимостями. Так как подобные автоматизированные системы используются в основном в закрытых тирах, оценка произведена на малых дистанциях (50 м для сверхзвуковых начальных скоростей и 25 м для дозвуковых).

При оптимизации расположения световых экранов будем задавать случайные измерительные погрешности расстояний $x_0 - x_d$ по равномерному закону (до 3 мм для световых экранов и до 1 мм для

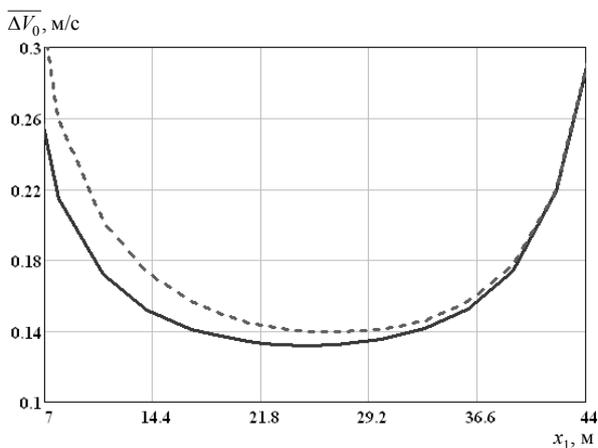
лазерного луча) и углов α и β (до $0,3^\circ$) и при многократном моделировании выстрелов в выбранную точку в пределах зоны регистрации находить средние значения абсолютных погрешностей определения начальной скорости $\overline{\Delta V_0}$. Очевидно, что два крайних блокирующих устройства должны располагаться на максимальном расстоянии друг от друга, а средний не должен располагаться слишком близко к одному из них (для увеличения измерительной базы).

Зафиксируем крайние блокирующие устройства на дистанциях $x_0 = 1$ м, $x_d = 50$ м и определим диапазон изменения $x_1 \in (8 \dots 43)$ м. В этом случае получаем задачу оптимизации величины x_1 , при которой $\overline{\Delta V_0}$ для множества опытов минимально. Исследования [5, 12] показали, что между $\overline{\Delta V_0}$ и средним значением погрешностей определения баллистического коэффициента $\overline{\Delta c}$ существует тесная корреляционная связь, поэтому при оптимизации будем учитывать только величину $\overline{\Delta V_0}$. Оптимизацию будем выполнять поочередно для двух вариантов – при реализации системы с использованием трех световых экранов (пунктирная линия на графиках) и при замене одного из световых экранов конструкцией из фотодиода и лазерного излучателя (сплошная линия).

Графики зависимостей $\overline{\Delta V_0} = f(x_1)$ для изделий АКМ и СВД (при построении графика в заданных точках ставились эксперименты с числом параллельных опытов $n = 10000$) приведены на рис. 3.



а



б

Рис. 3. Результаты оптимизации положения светового экрана x_1 : а – для АКМ; б – для СВД

Для изделий, обладающих дозвуковой начальной скоростью, проводилось аналогичное исследование с той лишь разницей, что крайние блокирующие устройства были зафиксированы на дистанциях $x_0 = 1$ м, $x_d = 25$ м и диапазон изменения $x_1 \in (4 \dots 22)$ м. Результаты моделирования для изделий ПМ и 6П29 приведены на рис. 4.

Средние значения погрешностей определения скорости и баллистического коэффициента для оп-

тимального положения x_1 при различных вариантах реализации системы приведены в таблице.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что оптимальное положение x_1 среднего светового экрана близко к середине между крайними блокирующими устройствами как при варианте реализации системы с использованием 3 световых экранов, так и при замене первого светового экрана на конструкцию с использованием лазерного излучателя. При

использовании методики определения скорости и баллистического коэффициента, представленной в работе [8], оптимизация положения среднего светового экрана для варианта реализации системы с использованием лазерного излучателя позволяет уменьшить абсолютную погрешность определения

начальной скорости примерно на 6-9 % для различных типов пуль по сравнению с вариантом системы с использованием 3 световых экранов. При этом абсолютная погрешность определения баллистического коэффициента уменьшается примерно на 6-8 % для различных типов пуль.

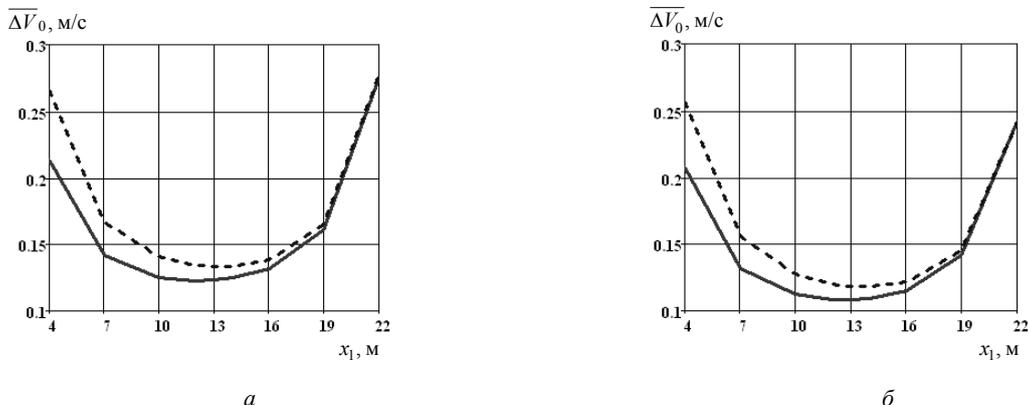


Рис. 4. Результаты оптимизации положения светового экрана x_1 : а – для ПМ; б – для изделия 6П29

Значения $\overline{\Delta V_0}$ и $\overline{\Delta c}$ при оптимальном положении x_1

Изделие	Вариант с тремя экранами			Вариант с использованием лазерного излучателя		
	Оптимальное положение x_1 , м	$\overline{\Delta V_0}$, м/с	$\overline{\Delta c} \cdot 100$, м ² /кг	Оптимальное положение x_1 , м	$\overline{\Delta V_0}$, м/с	$\overline{\Delta c} \cdot 100$, м ² /кг
АКМ	23	0,14	1,81	25	0,132	1,67
СВД	27	0,161	1,92	25	0,152	1,8
ПМ	13	0,134	14,4	12	0,123	13,56
6П29	14	0,118	16,1	13	0,108	15,12

Библиографические ссылки

1. Коновалов А. А., Николаев Ю. В. Внешняя баллистика. – Ижевск : Изд-во ИПМ УрО РАН, 2003. – 191 с.
2. Дмитриевский А. А. Внешняя баллистика. – М. : Машиностроение, 1972. – 584 с.
3. Шапиро Я. М. Внешняя баллистика. – М. : Оборонгиз, 1946. – 408 с.
4. Афанасьева Н. Ю. Информационно-измерительная система на основе световых экранов для испытаний стрелкового оружия : дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 2003.
5. Вдовин А. Ю. Разработка системы на основе световых экранов для определения внешнебаллистических параметров : дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 2010.
6. Пат. 2279035 Российская Федерация, МПК⁷ F 42 В 35/00 G 01 Р 3/68. Устройство для определения внешнебаллистических параметров метательного элемента с помощью световых экранов / Н. Ю. Афанасьева, В. А. Афанасьев, Ю. В. Веркиенко, В. С. Казаков, В. В. Коробейников; заявитель и патентообладатель Институт прикладной механики УрО РАН № 2005100994/02. Заявл. 18.01.05; опубл. 27.06.06.
7. Пат. 2279035 Российская Федерация, МПК⁷ F 41 J 5/02. Световая мишень / Н. Ю. Афанасьева, Ю. В. Веркиенко, В. С. Казаков, В. В. Коробейников; заявитель и патентообладатель Институт прикладной механики УрО РАН № 2002116940/02. Заявл. 24.06.02; опубл. 27.09.03.
8. Решение обратной задачи внешней баллистики в информационно-измерительной системе / В. А. Афанасьев, Н. Ю. Афанасьева, А. Ю. Вдовин, Ю. В. Веркиенко // Вестник ИжевГТУ. – 2008. – № 3. – С. 104–106.

9. Исследование уравнений внешней баллистики для решения обратной задачи / В. А. Афанасьев, Н. Ю. Афанасьева, А. Ю. Вдовин, Ю. В. Веркиенко // Вестник ИжевГТУ. – 2008. – № 4. – С. 105–107.
10. Вдовин А. Ю., Сапожников К. Ю. Оценка возможности применения лазерного излучателя в оптико-электронных системах измерения скоростных параметров метаемых элементов // Вестник КИГИТ. – Серия 1. Механика и физика: фундаментальные и прикладные исследования. – Ижевск : Изд-во КИГИТ, 2012. – С. 35–39.
11. Вдовин А. Ю., Сапожников К. Ю. Оценка возможности использования лазерного излучателя в системах на основе световых экранов для определения внешнебаллистических параметров // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании : сб. тр. регион. науч.-техн. очно-заоч. конф. (18 мая 2013 г.) / науч. ред. В. А. Куликов. – Ижевск : Изд-во ИжевГТУ, 2013. – С. 143–146.
12. Афанасьев В. А., Вдовин А. Ю., Марков Е. М. Оптимизация положения световых экранов при определении внешнебаллистических параметров // Сб. научн. тр. по материалам международной науч.-практич. конф. «Современные направления теоретических и прикладных исследований, 2009». – Т. 2. – Одесса : Черноморье, 2009. – С. 37–38.
13. Патроны к стрелковому оружию / Л. В. Коломийцев, И. С. Собакарь, В. Т. Никитюк, В. В. Сомов. – Харьков, 2003. – 336 с.
14. Пистолетные и снайперские патроны. Гранатометные выстрелы / В. К. Зеленко, А. В. Брызжев, В. В. Злобин, В. М. Королев : учеб. пособие. – Тула : Инфра, 2008. – 120 с.

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

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

Optimization of Light Screens Position in Systems of Determining the Velocity and Ballistic Coefficient Using the Laser Transmitter

The article is devoted to determining the optimum position of light screens in systems using laser emitter applied in determining the bullet velocity.

Keywords: optimization, light screen, laser emitter, initial sensor, external ballistics.

Получено 04.07.14

УДК 528.088

Т. А. Редькина, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Д. Г. Миловзоров, кандидат технических наук, доцент, Уфимский государственный авиационный технический университет

Р. Р. Садрутдинов, ОАО «НПФ «Геофизика», Уфа

О ПОГРЕШНОСТЯХ ГРАДИЕНТОМЕТРОВ С БИЭЛЕМЕНТНЫМИ ФЕРРОЗОНДОВЫМИ ДАТЧИКАМИ

Предложено аналитическое решение построения градиентометров с биэлементными феррозондовыми датчиками. Представлены зависимости изменения сигнала от величины угла поворота феррозондовых датчиков и анализ их погрешностей.

Ключевые слова: градиентометр, биэлементные феррозондовые датчики, математическая модель.

Область применения градиентометров, предназначенных для выявления локальных аномалий магнитных полей и контроля их параметров, достаточно широка [1]. При этом сами магнитные поля, как правило, подразделяются на слабые, параметры которых соизмеримы с естественным геомагнитным полем с индукцией порядка $B_0 = 50$ мкТл, и сильные, индукция которых кратно превышает B_0 . Градиентометры имеют одну важную конструктивную особенность, а именно – содержат в себе биэлементный магниточувствительный измерительный преобразователь в виде двух идентичных в идеальном случае датчиков, расположенных на определенном базовом расстоянии друг от друга, конкретное значение которого определяется условиями решаемой задачи, а выбор того или иного типа датчиков определяется нормируемыми метрологическими характеристиками (в первую очередь порогом чувствительности) и атрибутивной диаграммой направленности.

Из всего круга задач градиентометрии наибольший интерес представляет определение локальных неоднородностей сверхслабых магнитных полей в пределах естественных вариаций магнитосферы Земли (порядка 100 нТл). Это обусловлено рядом аспектов прикладного характера:

- естественная среда обитания биологических объектов;

- слабо выраженные ферромагнитные свойства твердых тел (остаточная намагниченность и коэрцитивная сила) и их габариты;

- пространственная доступность исследуемой локальной области, имеющая место при реализации

функций поиска, обнаружения и априорной оценки скрытых объектов вне зоны визуального (оптического) обзора (приповерхностного слоя грунтов, подводного расположения и др.).

Такие требования к градиентометрической аппаратуре определяют обоснованный выбор из всего спектра известных магниточувствительных датчиков именно феррозондовых измерительных преобразователей, обладающих рядом преимуществ:

- малый порог чувствительности (до единиц нТл);
- наличие диаграммы направленности;
- простота конструкции и высокая надежность;
- сравнительно невысокая стоимость.

Один из вариантов построения градиентометра представляет собой измерительную систему (ИС), структура которой показана на рис. 1. Основу системы составляют встречно включенные идентичные феррозондовые датчики F_1 и F_2 , которые позиционируются в корпусе на базовом расстоянии l друг от друга. При вертикальной оси корпуса ИС, в идеальном случае, оси чувствительности феррозондов F_1 и F_2 совпадают с продольной осью симметрии корпуса OZ и, соответственно, с направлением вектора ускорения свободного падения \vec{g} . При таком положении, при условии идентичности характеристик феррозондов F_1 и F_2 , выходной сигнал, определяемый как разность информационных сигналов с феррозондов t_1 и t_2 , в неискаженном магнитном поле будет всегда равен нулю независимо от пространственной ориентации корпуса. Иными словами, разностный сигнал Δt в данном случае является инвариантным к естественному геомагнитному полю.