

2. Пат. 2213320 Российская Федерация, МПК F41 J 5/02. Световая мишень / Афанасьев Н. Ю., Веркиенко Ю. В., Казаков В. С., Коробейников В. В. ; заявитель и патентообладатель Ин-т прикладной механики УрО РАН. – № 2002116940/02 ; заявл. 24.06.02 ; опубл. 27.09.03, Бюл. № 27. – 18 с. : ил.

3. Дьяконов В. П. Mathcad 11/12/13 в математике : справ. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 958 с.

\* \* \*

V. A. Afanasyev, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University

V. S. Kazakov, Candidate of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

V. V. Korobeynikov, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Worker, Institute of Applied Mechanics, Ural Branch of RAS, Izhevsk

#### Efficiency Experimental Research of Time Weighted Moments in a Light Target

*The results of experimental studies of finding weighted moments of time corresponding to bullet light screens crossing are presented. The efficiency of their use in light targets for determination of impact points coordinates are considered.*

**Keywords:** target, coordinates, nutation, precession, error

Получено 20.10.10

УДК 623.593

*В. А. Афанасьев*, аспирант;

Ижевский государственный технический университет

*В. В. Коробейников*, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Институт прикладной механики УрО РАН, Ижевск

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УМЕНЬШЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ СВЕТОВОЙ МИШЕНИ ИЗ-ЗА НУТАЦИИ И ПРЕЦЕССИИ ТЕЛА

*Рассматривается возможность уменьшения погрешности определения координат точек попадания за счет использования взвешенных времен пролета пули через световые экраны.*

**Ключевые слова:** мишень, координата, нутация, прецессия, погрешность

В информационно-измерительных системах (ИИС) на основе автоматических мишеней, предназначенных для испытания стрелкового оружия и боеприпасов с целью контроля их качества, а также для выполнения операции приведения к нормальному бою используются оценки параметров кучности и меткости, для вычисления которых необходимо знать координаты точек попадания пуль в плоскость регистрации. В автоматических мишенях (акустических или световых) для определения координат используются измеренные моменты времени срабатывания датчиков. В акустических мишенях датчики реагируют на воздействие звукобаллистической волны от пролетающей пули, а в световых мишенях – на изменение потока световой энергии при пролете пули сквозь световой экран [1].

Световая мишень состоит из нескольких световых экранов, расположенных в пространстве определенным образом относительно друг друга и направления стрельбы. Для определения координат точек попадания используют приборные коэффициенты, функционально зависящие от координат точек попадания. В качестве таких приборных коэффициентов можно взять время пролета пули от одного

экрана до другого или отношение времен. На рис. 1 изображена схема одного из вариантов расположения экранов.

Световой экран образуется линейным источником света, расположенным с одной стороны траекторий полета пуль и оптико-электронным преобразователем (датчиком) (ОЭП) – с другой стороны. Экраны  $\mathcal{E}_0$  и  $\mathcal{E}_3$  (рис. 1) перпендикулярны к оси  $OX$  (направлению стрельбы). Экран  $\mathcal{E}_1$  повернут относительно оси  $OZ$  и функционален к координате  $Y$  точки попадания (время пролета пули от  $\mathcal{E}_1$  до  $\mathcal{E}_3$  функционально зависит от координаты  $Y$ ). Экран  $\mathcal{E}_2$  повернут относительно оси  $OY$  и функционален к координате  $Z$  точки попадания (время пролета пули от  $\mathcal{E}_2$  до  $\mathcal{E}_3$  функционально зависит от координаты  $Z$ ). Поэтому для данной конфигурации световой мишени в качестве приборных коэффициентов следует взять следующие соотношения:

$$k_y = \frac{t_3 - t_1}{t_3 - t_0}, \quad k_z = \frac{t_3 - t_2}{t_3 - t_0}, \quad (1)$$

где  $t_i$  – моменты времени, определяемые по показаниям ОЭП;  $i$  – порядковый номер экрана.

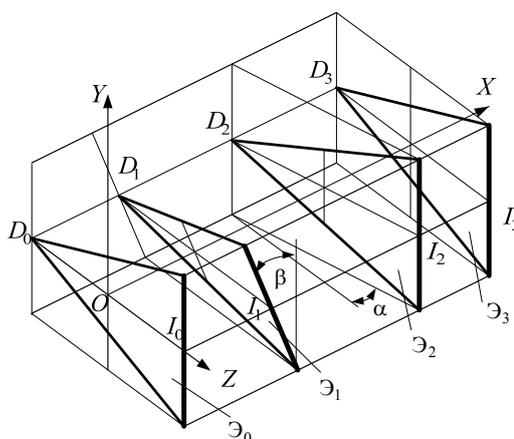


Рис. 1. Схема расположения экранов и датчиков:  $I_0, \dots, I_3$  – излучатели;  $D_0, \dots, D_3$  – оптико-электронные датчики;  $\mathcal{E}_0, \dots, \mathcal{E}_3$  – световые экраны;  $\beta$  – угол поворота светового экрана в плоскости  $YOZ$ ;  $\alpha$  – угол поворота светового экрана в плоскости  $ZOY$

Начало отсчета времени зависит от аппаратной реализации ИИС. Математическая модель световой мишени определяется регрессионными уравнениями [1]

$$y = \frac{a_0 + a_1 k_y + a_2 k_z}{1 - a_3 k_y - a_4 k_z}, \quad z = \frac{b_0 + b_1 k_y + b_2 k_z}{1 - b_3 k_y - b_4 k_z}, \quad (2)$$

где  $z, y$  – координаты точки попадания в мишени;  $a_i, b_i$  – тарировочные коэффициенты;  $i = 0 \dots 4$ ;  $k_y, k_z$  – приборные коэффициенты.

Коэффициенты  $a_i, b_i$  (тарировочные коэффициенты) в (2) определяются на этапе идентификации математической модели мишени по измеренным координатам точек попадания и соответствующим им моментам времени пересечения пуль экранов. В рабочем режиме координаты точки попадания определяются из решения системы (2), в которой коэффициенты  $a_i, b_i$  – величины известные (получены на

этапе тарирования системы), приборные коэффициенты  $k_y$ ,  $k_z$  – определяются по (1), система решается по методу Крамера.

Источниками погрешностей при определении координат точек попадания являются: упрощение математической модели, характеристики аппаратного обеспечения мишени, погрешности при измерении моментов времени пересечения пульей экранов и др. На рис. 2 показаны некоторые варианты подлета пули к экрану в зависимости от углов нутации и прецессии.

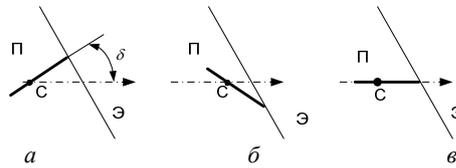


Рис. 2. Варианты подлета пули к наклонному экрану (вид сверху):

П – пуля; Э – световой экран;  $\delta$  – угол нутации; С – центр массы пули; угол прецессии для варианта *a* принят равным  $270^\circ$ , для *b* –  $90^\circ$ , для *c* –  $0^\circ$

Будем считать, что угол нутации изменяется по нормальному закону, а угол прецессии – по равномерному закону в диапазоне от 0 до  $2\pi$ , и каждая пуля при подлете к первому экрану имеет свои углы нутации и прецессии, и они постоянны на участке траектории от первого экрана до последнего (участок блокирования).

Если момент времени пересечения пульей экрана определять по достижению сигналом с ОЭП заданной величины и предположить, что все пули будут пролетать по одинаковой траектории и попадать в одну и ту же точку, то моменты времени, относящиеся к конкретному экрану, из-за различных углов нутации и прецессии будут отличаться друг от друга, что видно при рассмотрении рис. 2. Так как углы нутации и прецессии имеют случайный характер, то набор времен пересечения для каждой пули имеет свои, только ему присущие погрешности. На практике для повышения точности идентификации коэффициентов  $a_i$ ,  $b_i$  с целью уменьшения влияния углов нутации и прецессии увеличивают количество выстрелов и используют специальные патроны, обладающие меньшими колебаниями пули во время своего движения по траектории. Однако полностью исключить это влияние не удастся, и в результате полученные коэффициенты модели соответствуют некоторым усредненным значениям указанных углов.

Нутационные колебания совершаются относительно центра массы пули [2], поэтому, определяя времена пролета пули, относящиеся к ее центру, можно уменьшить погрешность вычисления координат точек попадания по сравнению с тем, когда времена определяются по переднему фронту при достижении сигналом установленного уровня порога. Теоретически момент времени пересечения центром массы пули экрана определяется расчетным путем. На практике он недоступен.

Сигнал на выходе ОЭП формируется в три этапа. Первый – это формирование тени пули. Второй – это воздействие тени на поток световой энергии, в результате на вход ОЭП поступает сигнал, определяемый формулой свертки (интеграл Дюамеля) [3]

$$y_l(t) = \int_0^t T(\tau)w_e(t-\tau)d\tau, \quad (3)$$

где  $y_l(t)$  – сигнал, поступающий на вход ОЭП;  $T$  – функции тени пули;  $w_e$  – весовая функция экрана.

На третьем этапе  $y_1(t)$  взаимодействует с весовой функцией ОЭП, и на его выходе появляется сигнал, отражающий пересечение пулей светового экрана. Он также определяется формулой свертки

$$y_2(t) = \int_0^t y_1(\tau) w_u(t - \tau) d\tau, \quad (4)$$

где  $y_2(t)$  – сигнал на выходе ОЭП;  $y_1$  – функция, определяемая (3);  $w_u$  – весовая функция ОЭП. Функции веса светового экрана и ОЭП рассмотрены в [4].

Для исследования влияния углов нутации и прецессии на точность определения координат точек попадания зададим на плоскости регистрации  $n$  характерных точек, равномерно распределенных в квадрате  $1 \times 1$  м. Используя систему дифференциальных уравнений по аргументу  $x$  (дальность), описывающих движение пули в плоскости стрельбы для каждой характерной точки из условия попадания в нее пули при заданном для всех траекторий значении начальной скорости  $v_0$  и баллистического коэффициента  $c$ , определим угол бросания  $\theta_0$  и угол курса  $\psi$ .

Уравнения световых экранов, заданные в виде

$$a_j x + b_j y + r_j = 0,$$

где  $j = 0, \dots, 3$  – порядковый номер светового экрана в мишени;  $a_j$  – тангенс угла наклона  $j$ -го экрана в плоскости  $ZOX$ ;  $b_j$  – тангенс угла наклона  $j$ -го экрана в плоскости  $YOX$ ;  $r_j$  – расстояние от начала координат до точки пересечения экрана с осью  $OX$ .

По найденным значениям  $\theta_0$ ,  $\psi$  и уравнениям световых экранов, решая задачу встречи траектории (пули представляется материальной точкой) с плоскостью, определим моменты времени пересечения траектории с экранами. В результате получим матрицу точных времен пересечения центром масс пули световых экранов при попадании в характерные точки. Обозначим ее в виде

$$TT = (t_{i,j}), \quad (5)$$

где  $i = 0, \dots, 12$  – номер характерной точки;  $j = 0, \dots, 3$  – номер светового экрана в мишени.

Далее, с учетом значений углов нутации и прецессии, для каждой характерной точки и светового экрана получим сигналы с ОЭП и по ним определим моменты времени  $t_n$  – входа в световой экран носика пули,  $t_k$  – выхода из экрана доньшка пули.

Пуля, пересекая световой экран, затеняет поток световой энергии. Теневая характеристика пули представляет собой проекцию пули на плоскость, параллельную оси  $OY$  и проходящую через перпендикулярную световому экрану составляющую вектора скорости пули. При определении проекции применяются матрицы вращения [5], углы  $\psi^*$ ,  $\theta^*$  (рис. 3, б) и углы  $\alpha$  и  $\beta$ , определяющие ориентацию светового экрана в пространстве (рис. 1).

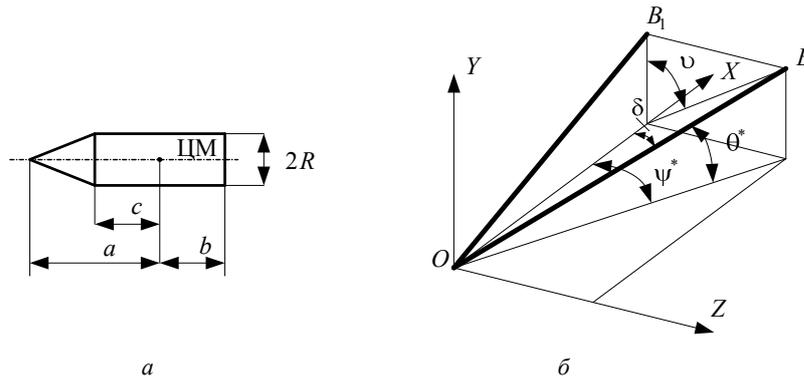


Рис. 3. Упрощенный чертеж пули и расположение оси пули в пространстве тира: ЦМ – центр массы пули; ОВ – ось пули;  $\delta$  – угол нутации;  $\psi$  – угол прецессии;  $a$  – профиль пули;  $b$  – расположение оси пули в пространстве тира

В итоге получим теневую характеристику пули, которая воздействует на световой экран в перпендикулярном к нему направлении. После вычисления (3) и (4) получим сигнал с ОЭП. На рис. 4 показаны сигналы с ОЭП при пролете пули сквозь световой экран. Определим момент времени пересечения светового экрана по формуле

$$T_{i,j}(k) = t_{i,j} - \left[ (t_n)_{i,j} + \frac{a}{a+b} \left( (t_k)_{i,j} - (t_n)_{i,j} \right) \right] + k(t_k)_{i,j} - (1-k)(t_n)_{i,j}, \quad (6)$$

где  $i$  – номер характерной точки в плоскости регистрации;  $j$  – номер светового экрана;  $k$  – коэффициент пересчета;  $a$ ,  $b$  – размеры пули (рис. 3,  $a$ );  $t_{i,j}$  – точное значение момента времени пересечения центром массы пули экрана, рассчитанное от точки вылета;  $(t_n)_{i,j}$ ,  $(t_k)_{i,j}$  – времена входа и выхода пули из экрана (рис. 4).

Значения  $(t_n)_{i,j}$ ,  $(t_k)_{i,j}$  определяются по пересечению графика сигнала с осью абсцисс или с прямой, параллельной этой оси и проведенной на уровне порога.

Для заданного  $k$  и выбранной характерной точки выполним  $N$  выстрелов, у каждого из которых пуля имеет свои углы нутации и прецессии. По (6), (1), (2) определим координаты точек попадания и их погрешности.

Результаты вычислений показывают, что при определении времен по (6) существует оптимальное значение коэффициента  $k$ , при котором дисперсия погрешностей координат точек попадания минимальна. Это значение коэффициента  $k$  зависит от отношения  $\Delta = \frac{a}{a+b}$ . На рис. 5 показаны графики зависимости дисперсий

ошибок по координате  $z$  и  $y$  от значения коэффициента  $k$  при пороге  $u_p = 0,1$ .

На рис. 5,  $a$  – для пули с  $\Delta = 0,35$ , на рис. 5,  $b$  –  $\Delta = 0,67$ .

Таким образом, разработана методика, основанная на определении взвешенных значений времен пролета пуль, которая позволяет учесть влияние нутации и прецессии и существенно уменьшить погрешности световой мишени.

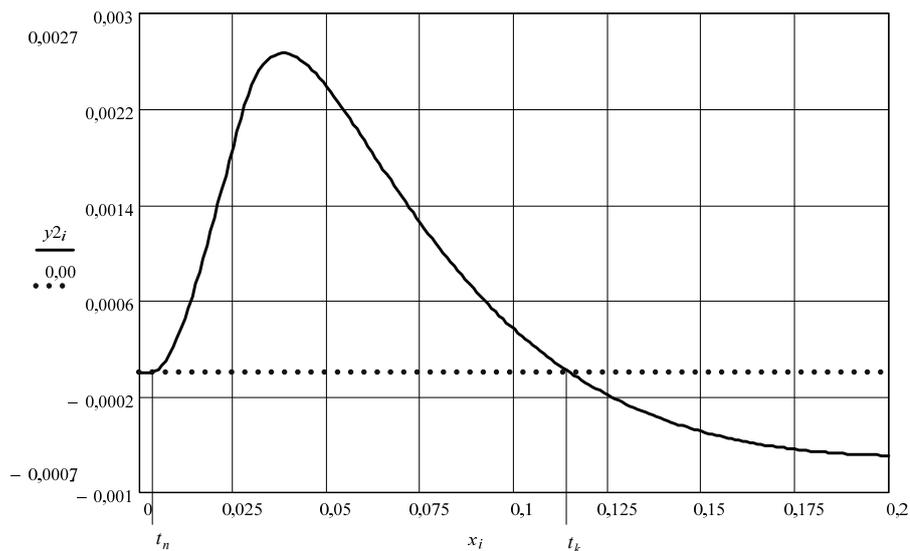
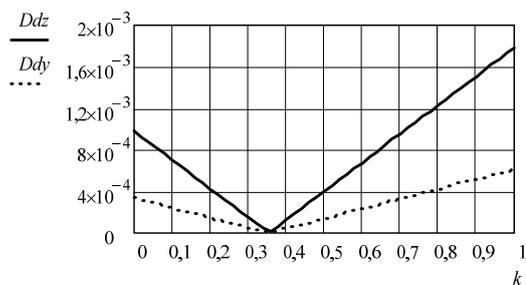
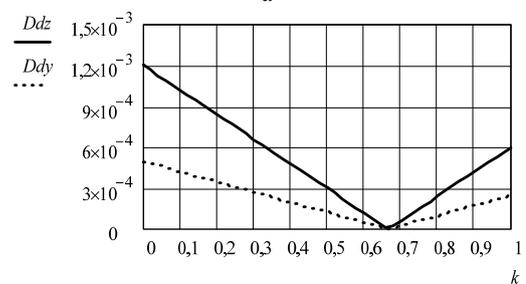


Рис. 4. График сигнала с ОЭП:  $t_n$  – момент времени входа пули в экран;  $t_k$  – момент выхода пули из экрана



a



б

Рис. 5. Графики дисперсий погрешностей определения координат:  $Ddz, Ddy$  – дисперсии погрешностей координат  $z$  и  $y$ ;  $k$  – коэффициент пересчета

## Список литературы

1. Пат. 2213320 Российская Федерация, МПК F41 J 5/02. Световая мишень / Афанасьева Н. Ю., Веркиенко Ю. В., Казаков В. С., Коробейников В. В.; заявитель и патентообладатель Ин-т прикладной механики УрО РАН. – № 2002116940/02; заявл. 24.06.02; опубл. 27.09.03, Бюл. № 27. – 18 с. : ил.
2. Шаниро Я. М. Внешняя баллистика. – М. : Оборонгиз, 1946. – 408 с.
3. Бесекеерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования : учебник. – 3-е изд., испр. – М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1975. – 768 с.
4. Коротяев В. Н., Аминов И. Р., Афанасьева Н. Ю. Уменьшение погрешности световой мишени из-за нутации полета тела // Вестн. ИжГТУ. – 2007. – № 1. – С. 26–29.
5. Математика и САПР : в 2 кн. Кн. 1. Основные методы. Теория полюсов / П. Шенен, М. Коснар, И. Гардан; пер. с фр. С. Д. Чигирь, ред. Н. Г. Волков. – М. : Мир, 1988. – 206 с.

\* \* \*

V. A. Afanasyev, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University

V. V. Korobeynikov, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Worker, Institute of Applied Mechanics, Ural Branch of RAS, Izhevsk

**Investigation of possibilities of error reduction in light targets due to bullet nutation and precession**

*The possibility of reducing errors at determining coordinates of impact points using time weighted moments of bullet light screen crossings are considered.*

**Keywords:** target, coordinates, nutation, precession, error

Получено 12.10.10

УДК 621.396.62

*Е. С. Бабинцев, инженер;*

Филиал ОАО «Сарапульский радиозавод» конструкторское бюро «Радиосвязь»

*А. Н. Копысов, кандидат технических наук, доцент;*

*И. З. Климов, доктор технических наук, профессор*

Ижевский государственный технический университет

**СТРУКТУРНАЯ СКРЫТНОСТЬ ДИСКРЕТНО-ЧАСТОТНОГО И МНОГОЧАСТОТНОГО ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ**

*Рассматриваются способы повышения структурной скрытности широкополосных сигналов на основе последовательностей Хаффмана путем совмещения с многочастотным и дискретно-частотным сигналами.*

**Ключевые слова:** структурная скрытность, широкополосные сигналы, многочастотные сигналы, дискретно-частотные сигналы

В настоящее время при разработке систем радиосвязи особое внимание уделяется вопросам скрытности передачи информации. На текущий момент в современной научной литературе нет общих принципов оценки скрытности передачи. Чаще всего в качестве показателя скрытности используется такой показатель, как вероятность обнаружения события, однако такой способ обладает некоторыми недостатками, такими как необходимость знания конкретного алгоритма раскрытия собы-