

УДК 623.593

И. В. Коробейникова, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет
В. В. Коробейников, кандидат технических наук, Институт прикладной механики УрО РАН, Ижевск
С. В. Казаков, кандидат технических наук, Институт прикладной механики УрО РАН, Ижевск

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОВОЙ МИШЕНИ

Рассматривается оптимизация параметров световой мишени, учитывающих влияние нутации и прецессии, с целью повышения точности определения координат точек попадания

Ключевые слова: мишень, координата, нутация, прецессия, погрешность, оптимизация.

Результаты исследований в [1, 2, 3] показали, что погрешность определения координат точек попадания (ТП) в информационно-измерительных системах (ИИС) на основе световых автоматических мишеней можно уменьшить за счет учета влияния углов нутации и прецессии. Для этого необходимо использовать специальное аппаратное и программное обеспечение, позволяющее измерять моменты времени входа и выхода пули из светового экрана [2], и по этим данным вычислять взвешенное время, соответствующее моменту пересечения экрана на центром массы пули.

Рассмотрим световую мишень, показанную на рис. 1. Математическая модель этой мишени определяется регрессионными уравнениями [4]

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

где z, y – координаты точки попадания в мишень; a_j, b_j – тарировочные коэффициенты, $j = 0, \dots, 4$; k_y, k_z – приборные коэффициенты.

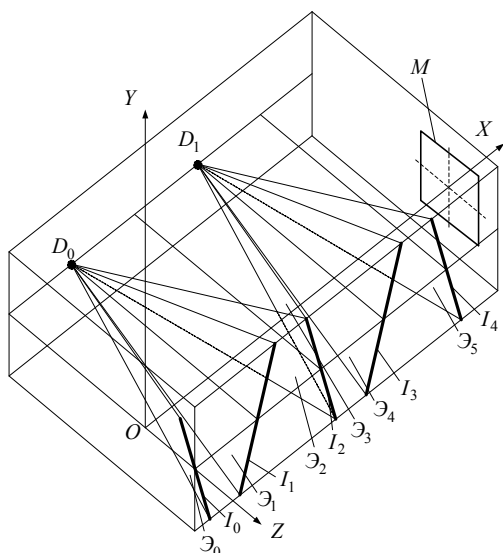


Рис. 1. Оптическая схема световой мишени: D_0, D_1 – оптико-электронные преобразователи (ОЭП); $I_0 \dots I_4$ – излучатели; $\mathcal{E}_0 \dots \mathcal{E}_5$ – световые экраны; M – область регистрации

Приборные коэффициенты определяются по формулам

$$k_y = \frac{t_5 - t_4}{t_5 - t_2}; \quad k_z = \frac{t_5 - t_3}{t_5 - t_2}, \quad (2)$$

где t_j – значения взвешенного времени; j – порядковый номер светового экрана.

Коэффициенты в (1) определяются на этапе идентификации математической модели мишени по измеренным координатам точек попадания и соответствующим им моментам времени пересечения пулей экранов. В рабочем режиме координаты точки попадания определяются из решения системы (1), в которой коэффициенты a_i, b_i – величины известные (получены на этапе тарирования системы), приборные коэффициенты k_y, k_z определяются по взвешенному времени, значение которого вычисляется по измеренным моментам времени входа и выхода пули из световых экранов и коэффициенту пересчета.

Формула определения взвешенного времени имеет вид

$$t_{i,j}(k) = k(t_k)_{i,j} + (1-k)(t_n)_{i,j}, \quad (3)$$

где i – номер характерной точки в плоскости регистрации; j – номер светового экрана; k – коэффициент пересчета; $(t_n)_{i,j}, (t_k)_{i,j}$ – соответственно, время входа и выхода пули из экрана, которое определяется в результате обработки сигналов, записанных в цифровой виртуальный осциллограф из ОЭП. Они определяются по пересечению сигнала с прямой, параллельной оси абсцисс и проведенной на уровне порога. При этом используются методы цифровой фильтрации, нормирования сигналов и логического анализа с целью отсека помех.

Теоретически коэффициент пересчета можно вычислить, используя геометрические размеры пули и положение центра ее массы по формуле

$$k = \frac{a}{a+b}, \quad (4)$$

где a – расстояние от носика пули до ее центра массы; b – расстояние от центра массы до донышка пули.

Фактически значение коэффициента k отличается от того [3], которое определяется по (4). Световые экраны (рис. 1) расположены в пространстве по-разному. Каждый экран имеет свои углы наклона (поворота) относительно осей OZ и OY ; кроме того, координаты точек пересечения траекторией пули световых экранов отличаются друг от друга и от координат ТП, так как плоскость стрельбы для каждого выстрела проходит через точку вылета и ТП (отклонена от вертикальной плоскости XOY на угол курса ψ (рис. 2)), а толщина экрана в точке пересечения его пулей зависит от координат этой точки. Поэтому сигнал на выходе ОЭП как результат двойной свертки [2] по каждому световому экрану отличается друг от друга.

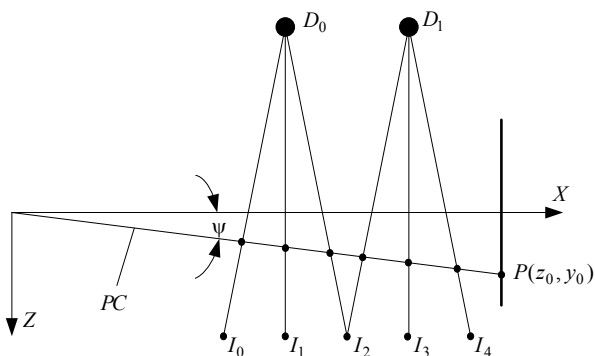


Рис. 2. Пересечение плоскостью стрельбы световых экранов (вид сверху): D_0, D_1 – ОЭП; $P(z_0, y_0)$ – точка попадания (ТП); I_0, \dots, I_4 – излучатели; PC – плоскость стрельбы; ψ – угол курса

Рассмотрим два варианта оптимизации параметров световой мишени:

1. Одномерная оптимизация, т. е. определение оптимального значения коэффициента пересчета общего для всех световых экранов.

2. Многомерная оптимизация, т. е. определение для каждого светового экрана своего коэффициента пересчета.

Поиск оптимального значения коэффициента (коэффициентов) будем выполнять из условия минимума дисперсии погрешностей определения координат ТП. Рассмотрим три варианта целевой функции:

1) дисперсия погрешностей по координате z (боковая координата) – D_z ;

2) дисперсия погрешностей по координате y (вертикальная координата) – D_y ;

3) функция, учитывающая обе дисперсии, – $D_{zy} = \sqrt{D_z^2 + D_y^2}$.

Решение задачи осуществлялось по следующему алгоритму, который предусматривает проведение эксперимента и обработку данных.

1. Выполнение $n = 100$ выстрелов и определение для каждого выстрела моментов времени входа и выхода пули из каждого экрана. Стрельба проводилась по бумажной мишени из пневматического

стрелкового оружия «ИЖ-60» калибра 4,5 мм в характерные точки прицеливания, которые были равномерно распределены по области регистрации ТП.

2. Измерение координат пробоев по бумажной мишени. Измерение осуществлялось с помощью металлической миллиметровой линейки.

3. Ввод измеренных координат в память ПЭВМ.

4. Решение задачи оптимизации.

Вычисление целевой функции состояло из следующих этапов.

1. Вычисление по (3) взвешенного времени для текущего значения коэффициента (коэффициентов в случае многомерной оптимизации) k , для всех ТП и для каждого светового экрана.

2. Идентификация коэффициентов a_j, b_j (тарировка модели (1) мишени) по вычисленному взвешенному времени и измеренным по бумажной мишени координатам ТП.

3. Вычисление по (1), (2) координат ТП по взвешенному времени и вычисленным a_j, b_j .

4. Вычисление погрешности координат ТП как разницы между измеренными и вычисленными координатами.

5. Вычисление целевой функции.

В случае многомерной оптимизации для каждого светового экрана определялся свой коэффициент пересчета, и взвешенные значения моментов времени определялись по формуле

$$t_{i,j}(k_j) = k_j(t_k)_{i,j} + (1 - k_j)(t_n)_{i,j},$$

где i – номер характерной точки в плоскости регистрации; j – номер светового экрана; k_j – коэффициент пересчета для j -го экрана; $(t_n)_{i,j}, (t_k)_{i,j}$ – время входа и выхода пули из экрана.

Была разработана программа в математическом пакете Mathcad [5], реализующая вышеизложенные алгоритмы. Оптимизация параметров осуществлялась с помощью блока *Given* и стандартной функции Mathcad *Minimize*. На определяемые параметры были наложены ограничения вида $0 \leq k \leq 1$, где k – коэффициент пересчета. В случае многомерной оптимизации на каждый коэффициент было наложено такое же ограничение.

Эффективность результатов оптимизации оценивалась по отношению дисперсии, которая определена при коэффициенте пересчета времени равном нулю, т. е. при использовании в расчетах в качестве взвешенного времени момента времени входа пули в экран, к дисперсии, которая определена при использовании оптимального значения коэффициента. Результаты расчетов для одномерной оптимизации показаны в табл. 1, а для многомерной оптимизации – в табл. 2.

Результаты проведенных исследований показали, что оптимизация параметров световой мишени на основе 100 выстрелов, полученных стрельбой пуль «Альфа», обеспечивает снижение погрешности определения координат точек попадания в среднем на 18 %.

Таблица 1. Результаты одномерной оптимизации ветовой мишени

Количество выстрелов. Тип пули	Целевая функция CF	Оптимальное значение коэффициента K_{op}	Значение целевой функции CF		Отношение $\frac{CF_{k=0}}{CF_{k=K_{op}}}$
			$k=0$	$k=K_{op}$	
100 «Альфа»	D_z	0,552	1,792	1,513	1,184
	$D_z^2 + D_y$	0,782	1,359	1,155	1,177
	$\sqrt{D_z^2 + D_y^2}$	0,603	2,249	1,912	1,176

Таблица 2. Результаты многомерной оптимизации световой мишени

Количество выстрелов. Тип пули	Целевая функция CF	Оптимальное значение коэффициента по каждому экрану				Значение целевой функции CF		Отношение $\frac{CF_{k=0}}{CF_{k=K_{op}}}$
		k_1	k_2	k_3	k_4	для всех экранов $k=0$	оптимальное $k_i = K_{op}, i=1...4$	
100 «Альфа»	D_z	0,555	0,553	0	0,692	1,792	1,510	1,187
	$D_z^2 + D_y$	0	0,843	0,766	0,783	1,359	1,149	1,182
	$\sqrt{D_z^2 + D_y^2}$	0,533	0,593	0,723	0,779	2,249	1,905	1,181

Список литературы

1. Коротяев В. Н., Аминов И. Р., Афанасьева Н. Ю. Уменьшение погрешности световой мишени из-за нутации полета тела / Вестник ИжГТУ. – 2007. – № 1. – С. 26–29.
2. Афанасьев В. А., Коробейников В. В. Исследование возможностей уменьшения погрешностей световой мишени из-за нутации и прецессии тела // Интеллектуальные системы в производстве. – 2010. – № 2. – С. 103–109.
3. Афанасьев В. А., Казаков В. С., Коробейников В. В. Экспериментальное исследование эффективности использования взвешенных времен в световой мишени // Интел-

лектуальные системы в производстве. – 2010. – № 2. – С. 99–103.

4. Пат. 2213320 Российская Федерация, МПК F41 J 5/02. Световая мишень / Н. Ю. Афанасьева, Ю. В. Веркиенко, В. В. Коробейников; заявитель и патентообладатель Институт прикладной механики УРО РАН. – № 2002116940/02; заявл. 24.06.02; опубл. 27.09.03. Бюл. № 27.

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

I. V. Korobeynikova, Candidate of Technical Sciences, Izhevsk State Technical University

V. V. Korobeynikov, Candidate of Technical Sciences, Institute of Applied Mechanics, Udmurt Center of UB RAS, Izhevsk

S. V. Kazakov, Candidate of Technical Sciences, Institute of Applied Mechanics, Udmurt Center of UB RAS, Izhevsk

Optimization of Parameters of a Light Target

Optimization of parameters of a light target with the aim of increasing the accuracy of coordinates detection of impact points.

Key words: target, coordinates, nutation, precession, accuracy, optimization.

УДК 681.3.08

В. А. Куликов, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет

В. В. Сяктерева, аспирант, Ижевский государственный технический университет

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ГРУНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛИНЕЙНОГО НАГРЕВАТЕЛЯ – ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ

Дано обоснование динамического метода измерения теплопроводности грунта на основе линейного нагревателя – датчика температуры. Приведены результаты электротеплового моделирования системы «датчик – среда» и результаты экспериментальной проверки метода.

Ключевые слова: теплопроводность грунта, моделирование, электротепловая аналогия, линейный нагреватель, датчик температуры.

Потребность в оперативном определении теплопроводности грунта возникает при оценке эффективности теплозащитных со-

оружий трубопроводов в теплоэнергетике и предъявляет особые требования к методу измерений. Такой метод должен давать воспроизводимый резуль-