

Библиографические ссылки

1. Певзнер Я. М. Колебания автомобиля. Испытания и исследования. – М.: Машиностроение, 1979. – 208 с.

2. РД 37.052.092. Методика экспериментального определения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) автомобиля. – Дмитров: Изд. НИЦИАМТ, 1988. – 22 с.

3. Там же.

4. ГОСТ 12.1.012–2004. Вибрационная безопасность общие требования.

5. Там же.

6. ГОСТ 31193–2004 (ЕН 1032:2003). Вибрация. Определение параметров вибрационной характеристики самоходных машин. Общие требования.

* * *

A.S. Gushchin, Post-graduate, Tchaikovsky Technological Institute, (branch of) Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Experimental determination of cross-angular vibration of car body

The technique and experimental stand have been developed to determine the cross-angular vibrations of the car body. The experimental stand allows studying such performance characteristics of the car as smoothness, stability, as well as the ability to assess the adequacy of mathematical models of the car body.

Keywords: vibrations of the car, experimental stand.

Получено: 07.10.14

УДК 623.593

С. Ф. Егоров, кандидат технических наук, доцент

Институт механики УрО РАН

И. В. Коробейникова, кандидат технических наук, доцент

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АКУСТИЧЕСКОЙ МИШЕНИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ МОМЕНТОВ ВРЕМЕНИ

Приведены результаты экспериментальных исследований применения взвешенных моментов времени для повышения точности вычисления точки попадания в акустической мишени. Показана зависимость амплитуды и длительности фронтов сигналов с акустических датчиков от пространственной ориентации пьезокристалла датчика, выявлен оптимальный коэффициент взвешенного времени для дозвуковой акустической мишени.

Ключевые слова: акустическая мишень, акустический датчик, момент времени, погрешность.

В сверхзвуковой акустической мишени источником информации является конус Маха, создаваемый пролетающим объектом [1–3]. В дозвуковой мишени используется преобразователь – упругая поверхность, при пробивании которой формируется звуковая волна в виде расширяющейся полусферы от точки попадания [4–6]. Конус Маха или звуковая сфера воздействуют своим фронтом (образующей конуса) на пьезокристаллические акустические датчики (расположенные в четырех углах мишени), сигнал с которых обрабатывается цифровым осциллографом (ЦО) и поступает в компьютер (ПЭВМ). Физически акустический датчик представляет собой цилиндр, на торце которого расположен чувствительный элемент с рабочим диаметром 2 мм (рис. 1), и из-за своих размеров вырабатывает сигнал, сильно зависящий от угла соприкосновения рабочей поверхности со звуковым фронтом [7].

Для построения сверхзвуковых мишеней строится график зависимости угла Маха от скорости объекта, и акустические датчики ориентируются таким образом, чтобы ось датчика была перпендикулярна образующей конуса, т. е. для каждого вида боеприпасов со своей скоростью необходимо переориентировать датчики для поддержания высокой точности фиксации времен, а значит, и вычисления точки попадания. В дозвуковой мишени угол между осью датчика

и фронтом звуковой сферы зависит от положения точки попадания, и первоначальная настройка ориентации датчиков осуществляется по центру мишени и поэтому точность вычисления точки попадания по измеренным моментам времени снижается к краям мишени.

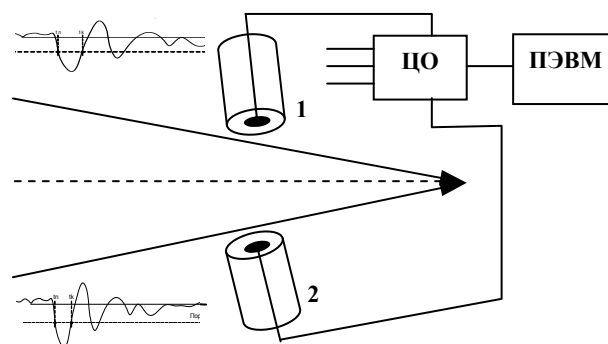


Рис. 1. Воздействие огибающей конуса Маха на датчики: 1 – произвольно ориентированный и 2 – перпендикулярно ориентированный

Предложенная в работе [8] идея использования взвешенных моментов времени, чтобы не зависеть от скорости объекта и от положения точки попадания с сохранением высокой точности измерений без перенастройки ориентации датчиков, потребовала про-

ведения экспериментальных и теоретических исследований, и они подтвердили предполагаемые закономерности для дозвуковой мишени (рис. 2–6): падения уровня сигнала с ростом расстояния до датчика и сглаживание формы сигнала при уменьшении угла между продольной осью датчика и фронтом звуковой волны (рис. 1).

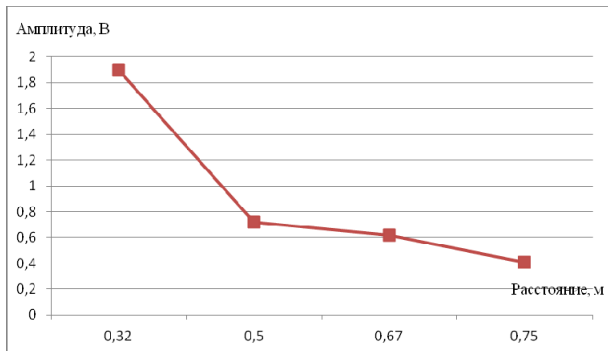


Рис. 2. Зависимость амплитуды сигнала от расстояния до датчика

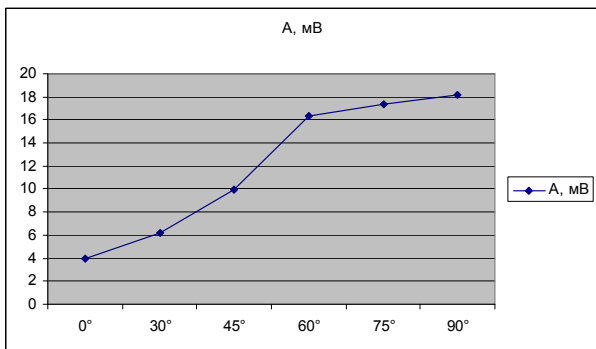


Рис. 3. Зависимость амплитуды сигнала от угла поворота датчика

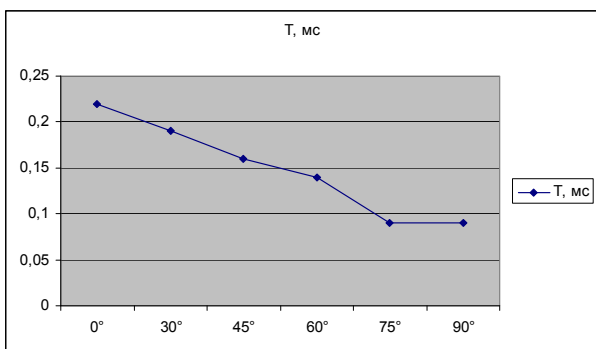


Рис. 4. Зависимости $T_{\text{фронта}}$ сигнала от угла поворота датчика

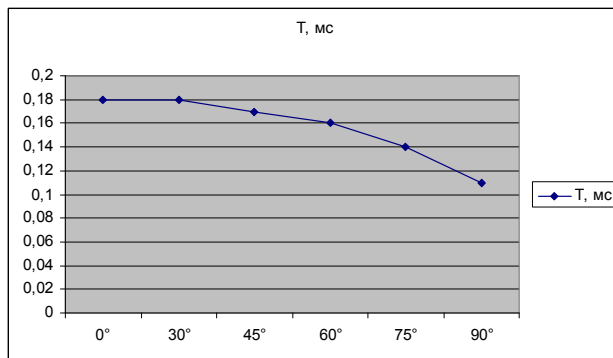


Рис. 5. Зависимость $T_{\text{спада}}$ сигнала от угла поворота датчика

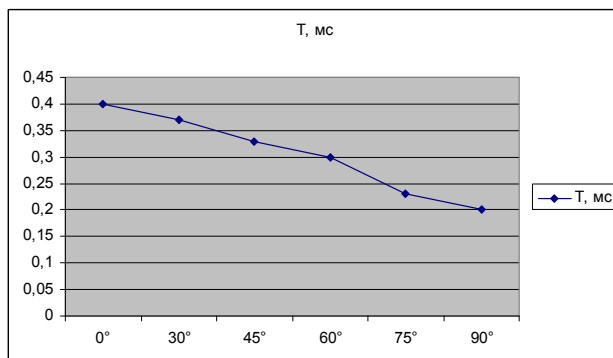


Рис. 6. Зависимость длительности сигнала от угла поворота датчика

Таким образом, экспериментальные исследования показали, что звуковая волна, распространяющаяся от точки попадания своим фронтом перпендикулярно оси акустического датчика с пьезокристаллом, дает сигнал с наибольшей амплитудой, с минимальными по длительности фронтами и меньшей длительностью сигнала (рис. 7). В случае, когда волна распространяется под другим углом к датчику, амплитуда сигнала уменьшается, а фронты и длительность сигнала увеличиваются, что и снижало точность фиксации моментов времени, которые измерялись по переднему фронту на уровне 0,5 от амплитуды сигнала (t_n).

Уменьшить погрешность определения координат можно приведением времени срабатывания датчика к моменту прохождения ударной волны через центр его пьезокристаллической чувствительной пластинки по формуле:

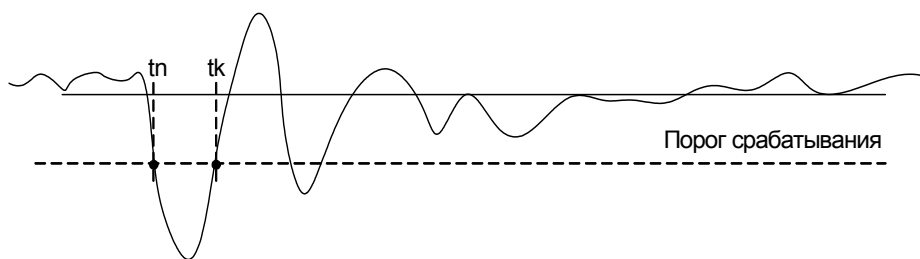


Рис. 7. Сигнал с датчика t_n – время начала; t_k – время окончания

$$t_i = k \cdot t_k + (1 - k) \cdot t_n, \quad (1)$$

где t_i – взвешенное время срабатывания i -го датчика; k – коэффициент взвешенного времени (определяется экспериментально); t_n – время начала сигнала; t_k – время окончания сигнала.

В ходе экспериментального исследования было проведено три серии из 10 выстрелов по различным точкам бумажной мишени. Все попадания фиксировались дозвуковой электронной мишенью и вручную.

Времена t_n и t_k измерялись по переднему и заднему фронту на уровне 0,5 от амплитуды сигнала. Далее был произведен обсчет результатов, а также поиск оптимального коэффициента взвешенного времени в математическом пакете MathCad по системе уравнений (2) с учетом регрессионных уравнений, компенсирующих неточность первоначального задания координат расположения датчиков [9–11]:

$$\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2} = a(t_i + t_0), \quad (2)$$

где t_i – время движения звуковой волны до i -го датчика; t_0 – время начала отсчета; a – скорость звука в воздухе; (x_i, y_i, z_i) – координаты i -го датчика; (x_0, y_0, z_0) – координаты точки попадания.

Программа расчета координат использует метод Ньютона в пространстве. Неизвестными являются координаты точки попадания и время срабатывания стартового датчика. Поиск решения начинается из начала координат; начальное значение времени стартового датчика равно 0,005 с; итерации заканчиваются при выполнении заданной точности вычисления или при превышении заданного количества итераций. Координаты точки попадания вычислялись последовательно для коэффициента взвешенного времени k от 0 до 1 с шагом 0,1, после чего сравнивались с вручную измеренными координатами, и вычислялось СКО. Результаты уменьшения СКО вычисления точки попадания по координатам Y и Z (так называемая эффективность) в зависимости от коэффициента взвешенного времени и коррекции координат регрессионными уравнениями представлены на рис. 8.

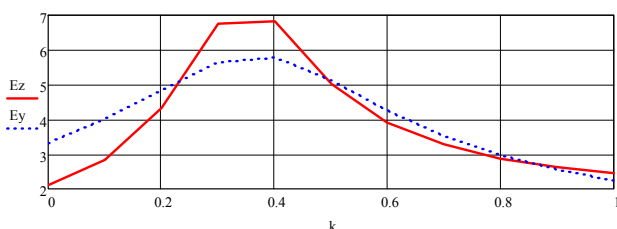


Рис. 8. Эффективность использования взвешенных времен

Экспериментальные исследования коэффициента взвешенного времени показали, что максимальная эффективность снижения СКО наблюдается при $k = 0,4$, а применение взвешенных значений времен срабатывания датчиков в акустической дозвуковой мишени снижает погрешность определения координат точек попадания примерно в 2 раза (по координате Z в 2,58 раза и по координате Y в 1,79 раза).

Таким образом, представленные выше исследования доказали возможность использования взвешенных моментов времени для повышения точности акустической дозвуковой мишени без перенастройки оборудования и высоких требований к первоначальной установке датчиков.

Библиографические ссылки

1. Коробейников В. В., Коробейникова И. В. Математическая модель универсальной сверхзвуковой акустической мишени // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2012. – № 3. – С. 101–103.
2. Коробейников В. В., Коробейникова И. В. Варианты моделей акустических мишеней // Вестник КИГИТ. – № 1 (19). – Ижевск : Изд-во КИГИТ, 2012. – С. 18–23.
3. Коробейников В. В., Казаков В. С. Акустическая мишень с выносным датчиком // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013 – № 1. – С. 127–129.
4. Коробейников В. В., Коробейникова И. В. Варианты моделей акустических мишеней // Вестник КИГИТ. – № 1 (19). – Ижевск : Изд-во КИГИТ, 2012. – С. 18–23.
5. Коробейников В. В., Казаков В. С. Дозвуковая акустическая мишень для измерения координат точки попадания и скорости пули // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2012. – № 2. – С. 104–107.
6. Коробейников В. В., Богдашкин А. В. Усовершенствование дозвуковой акустической мишени // Приборостроение в XXI веке : IX Всерос. конф. с междунар. участием. – Ижевск ; Изд-во ИжГТУ, 2013. – С. 140–141.
7. Коробейников В. В., Богдашкин А. В. Влияние звуковой волны на форму сигнала акустического датчика // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании : сб. тр. регион. НТК. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2014. – С. 274–300.
8. Коробейников В. В., Богдашкин А. В. Усовершенствование дозвуковой акустической мишени // Приборостроение в XXI веке : IX Всерос. конф. с междунар. участием. – Ижевск, Изд-во ИжГТУ, 2013. – С. 140–141.
9. Коробейников В. В., Коробейникова И. В. Варианты моделей акустических мишеней // Вестник КИГИТ. – № 1 (19). – Ижевск : Изд-во КИГИТ, 2012. – С. 18–23.
10. Коробейников В. В., Казаков В. С. Дозвуковая акустическая мишень для измерения координат точки попадания и скорости пули // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2012. – № 2. – С. 104–107.
11. Коробейников В. В., Богдашкин А. В. Усовершенствование дозвуковой акустической мишени // Приборостроение в XXI веке : IX Всерос. конф. с междунар. участием. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2013. – С. 140–141.

S. F. Egorov, PhD in Engineering, Associate Professor, Institute of Mechanics, Ural Branch RAS, Izhevsk
I. V. Korobeynikova, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Increasing the accuracy of acoustic target by applying weighted timepoints

The paper presents the results of pilot studies of applying the weighted timepoints to increase the calculation accuracy for a point of hit in an acoustic target. Dependence is shown for the amplitude and duration of fronts of signals from acoustic sensors on spatial orientation of a piezocrystal of the sensor, the optimum coefficient of the weighed time for a subsonic acoustic target is revealed.

Keywords: acoustic target, acoustic sensor, timepoint, error.

Получено: 23.10.14

УДК 621.39.052

И. З. Климов, доктор технических наук, профессор
Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова
А. Л. Шишкин
ООО «Вторая лаборатория»

ОПТИМАЛЬНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ДИСКРЕТНЫХ СООБЩЕНИЙ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ЭЛЕКТРОСЕТЯМ

В статье представлена модель системы связи по электросетям в пространстве состояний, предложена модель оптимального приемника дискретных сообщений и приведены результаты работы модели оптимального приемника в системе передачи данных по разветвленным электросетям.

Ключевые слова: передача данных по электросетям, модель в пространстве состояний, фильтр Калмана.

Для систем передачи данных важной проблемой является повышение помехоустойчивости приема при одновременном воздействии шумов наблюдения и искажений, вводимых каналом связи. Как наиболее перспективное решение данной проблемы можно рассматривать использование цифровых адаптивных алгоритмов фильтрации сигналов, среди которых фильтр Калмана является наилучшим линейным алгоритмом оценивания в смысле минимума дисперсии ошибки [1–4]. Реализация дискретного алгоритма калмановской фильтрации предполагает, что модели сигналов, шумов и искажений канала связи представляются набором разностных уравнений состояния и наблюдения.

Модель системы передачи данных по электросетям

Всякое информационное дискретное сообщения $a(k)$ с рациональным спектром, близким к нулю на высоких частотах, в системах связи можно представить марковским случайным процессом (k – целое положительное число, указывающее на момент времени) [5–8]. В этом случае модель полезного сигнала $a_0(k)$ рассматривается как реакция формирующего фильтра с передаточной функцией $H_a(z)$ (1) на возмущение нормальным белым шумом $\xi_a(k)$ со спектральной плотностью мощности N_a (рис. 1).

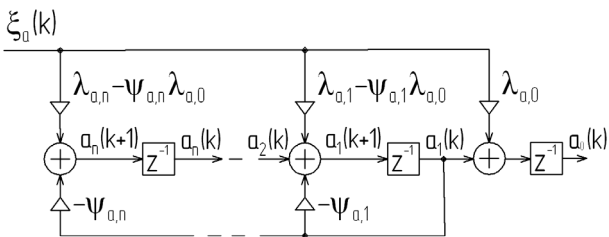


Рис. 1. Генерация дискретного случайного процесса на выходе формирующего фильтра канонического вида

$$H_a(z) = \frac{\lambda_{a,0} + \lambda_{a,1}z^{-1} + \lambda_{a,2}z^{-2} + \dots + \lambda_{a,n}z^{-n}}{1 + \psi_{a,1}z^{-1} + \psi_{a,2}z^{-2} + \dots + \psi_{a,n}z^{-n}} \quad (1)$$

Примем за переменные состояния системы, показанной на рис. 1, уровни сигналов на выходе каждого элемента задержки и запишем процесс генерации информационного сообщения в $(k + 1)T$ момент времени в виде матричного уравнения состояния (2). Порядок матриц в выражении (2) определяется степенью полинома знаменателя в выражении (1), а полезному сигналу на выходе фильтра соответствует переменное состояние $a_0(k)$ [9–11].

$$A(k + 1) = F_a \times A(k) + G_a \times \xi_a(k) \quad (2)$$

$$\text{где } A(k + 1) = \begin{pmatrix} a_0(k + 1) \\ a_1(k + 1) \\ a_2(k + 1) \\ \vdots \\ a_n(k + 1) \end{pmatrix}; \quad A(k) = \begin{pmatrix} a_0(k) \\ a_1(k) \\ a_2(k) \\ \vdots \\ a_n(k) \end{pmatrix};$$

$$F_a = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -\psi_{a,1} & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -\psi_{a,2} & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ 0 & -\psi_{a,n} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad G_a = \begin{pmatrix} \lambda_{a,0} \\ \lambda_{a,1} - \psi_{a,1}\lambda_{a,0} \\ \lambda_{a,2} - \psi_{a,2}\lambda_{a,0} \\ \vdots \\ \lambda_{a,n} - \psi_{a,n}\lambda_{a,0} \end{pmatrix};$$

$\lambda_{a,i}$, $\psi_{a,i}$ – коэффициенты числителя и знаменателя соответственно передаточной функции (1).

Передаточная функция формирующего фильтра $H_a(z)$ и, соответственно, матрицы коэффициентов F_a и G_a находятся из предположения, что спектральная плотность мощности $S_a(\omega)$ информационного сообщения известна.