

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТРАСТА В ВИБРИРУЮЩИХ ПАРНЫХ ШТРИХАХ С РАЗЛИЧНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ ЗАПОЛНЕНИЯ

С.П. Пронин, Е.В. Герман

Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова
г. Барнаул

Статья посвящена исследованию изменения контраста в парных штрихах с различными коэффициентами заполнения под воздействием гармонической вибрации. Теоретически установлено и практически получены результаты, свидетельствующие о том, что с увеличением коэффициента заполнения в штрихах возникает отрицательный контраст.

Ключевые слова: контраст, парные штрихи, коэффициент заполнения.

Определение параметров вибрации является одной из актуальных задач современной измерительной техники. Ведущую позицию в решении этой задачи занимают оптические методы. Например, для измерения частоты и размаха вибрации используют видеокамеру с изменяемой кадровой частотой и тест-объект в виде парных штрихов с различными пространственными частотами [1,2].

Частота вибрации определяется по стробоскопическому эффекту, когда вибрирующий тест-объект на экране монитора компьютера становится неподвижным. Частота вибрации в этом случае равна кадровой частоте. Размах вибрации равен ширине штриха в той паре, где наблюдается нулевой контраст [3,4,5].

Измерения частоты и размаха гармонической вибрации в указанных работах выполнены при условии, что период штрихов в два раза превышает ширину одного штриха. Следовательно, такие штрихи имеют коэффициент заполнения: $K_3 = 0,5$ [1-5].

Цель работы – исследовать изменение контраста в парных штрихах с различными коэффициентами заполнения.

В качестве модели примем периодическую последовательность прямоугольных импульсов, расположенных симметрично относительно начала отсчета. Такой меандр можно разложить в ряд [7]:

$$f(x) = \frac{a}{A} + 2 \frac{a}{A} \left(\frac{2}{\pi} \cos\left(\frac{2\pi x}{A}\right) - \frac{2}{3\pi} \cos\left(\frac{3 \cdot 2\pi x}{A}\right) + \dots \right), \quad (1)$$

где a – ширина штриха; A – расстояние между центрами штрихов (период).

Отношение $\frac{a}{A}$ в оптике называют коэффициентом заполнения: $K_3 = \frac{a}{A}$. В электронике величину обратную K_3 называют скважностью.

Из научных источников известно, что частотно-контрастную характеристику (ЧКХ) вибрации можно представить в виде [2]:

$$ЧКХ = \frac{\sin(\pi v 2R)}{\pi v 2R}, \quad (2)$$

где R – размах вибрации, мм; v – пространственная частота парных штрихов, связанная с периодом A известным соотношением $v = \frac{1}{A}$, мм⁻¹.

При условии $R = a$ в парных штрихах имеющих $K_3 = 0,5$, наблюдается нулевой контраст.

Для исследования изменения контраста в частотной области, выполним Фурье-преобразование уравнения (1).

В результате получим:

$$F(v) = \mathfrak{F}\{f(x)\} = \frac{a}{A} \delta(0) + \frac{4}{\pi} \cdot \frac{a}{A} \left\{ \delta\left(v - \frac{1}{A}\right) - \frac{1}{3} \delta\left(v - \frac{3}{A}\right) \right\} \quad (3)$$

При условии размаха вибрации R равном размеру штриха A и $K_3 = 0,5$ в штрихах наблюдаются нулевые контрасты.

Согласно уравнению (2) нули ЧКХ определяются на частотах: $v = \frac{n}{A}$, где $n = 1, 2, 3 \dots$

Из уравнения (3) следует, что сумма гармоник, которая определяет меандр попадает в нули ЧКХ (рисунок 1). Из этого же уравнения следует второй вывод, если оста-

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТРАСТА
В ВИБРИРУЮЩИХ ПАРНЫХ ШТРИХАХ
С РАЗЛИЧНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ ЗАПОЛНЕНИЯ

вить неизменным размер штрихов a , но увеличивать коэффициент заполнения K_3 или, что тоже самое, уменьшать период штрихов A , то δ -функции будут смещаться относительно нулевых точек ЧКХ вправо.

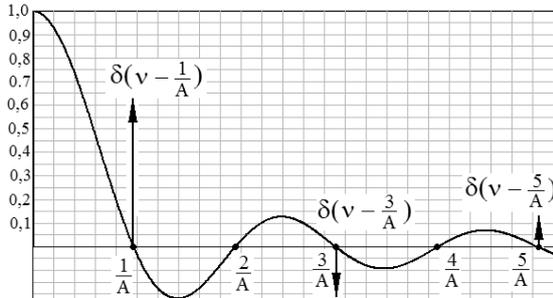


Рисунок 1 – График ЧКХ вибрации с заданным размахом $R = 2a = A$

Для экспериментальной проверки этой гипотезы был разработан тест-объект, представленный на рисунке 2. Он имеет шесть парных штрихов, пронумерованных от 1 до 6. У первых трех пар размеры штрихов составляют 0,4 мм, а коэффициенты заполнения $K_1 = 0,8$, $K_2 = 0,67$, $K_3 = 0,5$ для первой, второй и третьей пар соответственно. У следующих трех пар размеры штрихов составляют 0,38 мм, а коэффициенты заполнения равны: $K_4 = 0,86$, $K_5 = 0,72$, $K_6 = 0,5$.

Исследование изменения контраста в парных штрихах выполняли при частоте вибрации $f_v = 50$ Гц и кадровой частоте видеокамеры $f_{tv} = 50$ Гц. Размах вибрации составлял $R = 0,42$ мм.



Рисунок 2 – Разработанный тест-объект. Контраст в парных штрихах рассчитывали по известной формуле [7]:

$$K = \frac{S_{max} - S_{min}}{S_{max} + S_{min}}, \quad (4)$$

где S_{max} – значение сигнала в центре штрихов; S_{min} – значение сигнала на штрихах.

На рисунке 3 представлено изображение вибрирующих парных штрихов, а на рисунке 4 – изменение оптического сигнала в парных

штрихах, полученного из этого изображения в программе MathCad. По значениям максимального оптического сигнала (S_{max}) и минимального (S_{min}), показанных на графике, рассчитывали контраст по формуле (4).

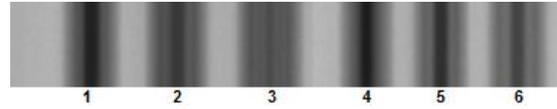


Рисунок 3 – Изображение вибрирующих парных штрихов

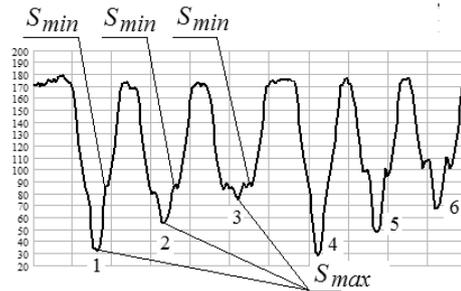


Рисунок 4 – Изменения оптического сигнала в парных штрихах, полученного из изображения штрихов в программе MathCad

Известно, что при размахе гармонической вибрации меньше, чем ширина штриха, в этой паре наблюдается положительный контраст, то есть $S_{max} > S_{min}$, поэтому $K > 0$.

Если размах равен ширине штриха, то в этой паре наблюдается нулевой контраст, то есть $S_{max} = S_{min}$, поэтому $K = 0$.

Наконец, если размах превышает ширину штриха, то в этой паре наблюдается отрицательный контраст, то есть $S_{max} < S_{min}$, поэтому $K < 0$ [1-5].

Согласно эксперименту размах вибрации превышал ширину штриха 0,4 мм на 0,02 мм. Следовательно, в данной паре должен наблюдаться незначительный отрицательный контраст, о чем и свидетельствует пара под номером 3 на рисунке 3. Все остальные пары штрихов также имеют отрицательный контраст, как и следует из математической формулы (3) и графика ЧКХ (рисунок 1).

Согласно графику ЧКХ с увеличением коэффициента заполнения отрицательный контраст в парных штрихах должен возрастать. Экспериментально этот факт подтверждают 2-ая и 1-ая пары.

6-ая пара имеет размеры штрихов еще меньше, чем размах вибрации ($a = 0,38$; $R = 0,42$). Следовательно, в данной паре тоже должен возникает отрицательный контраст.

Согласно математической формуле (3), 4-ая и 5-ая пары, имеющие больший коэффициент заполнения, должны иметь отрицательный контраст, что также подтверждается экспериментом и расчетом контраста по формуле (4).

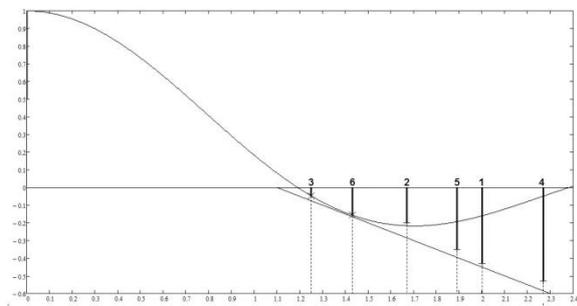


Рисунок 5 – Значения контраста, вычисленные на основе экспериментальных измерений и расчетов по формуле (4), для штрихов с различными коэффициентами заполнения

На рисунке 5 отражена ЧКХ, построенная для изменения контраста в штрихах с коэффициентом заполнения $K_3 = 0,5$ и контрасты вычисленные по формуле (4) для всех 6-ти парных штрихов. Как видно из рисунка, штрихи под номерами 3 и 6, имеющие $K_3 = 0,5$ подчиняются закону приведенной ЧКХ. Изменения контраста в остальных штрихах не подчиняются этому закону.

Выводы

Проведенное исследование изменения контраста в парных вибрирующих штрихах с различными коэффициентами заполнения показали, что математическая формула (3) и ЧКХ (2) в качественном аспекте верно отражают экспериментальные результаты.

Однако в количественном отношении контраст в парных штрихах с различными коэффициентами заполнения (K_3) перестает подчиняться закону изменения ЧКХ (2).

В прикладном аспекте наблюдаемый эффект можно использовать в контрольно-измерительной технике для повышения точности измерения размаха вибрации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пронин С. П. Теоретические и экспериментальные исследования процесса пространственных колебаний в частотной и пространственной областях / С. П. Пронин, Д. Ю. Наталенко // Ползуновский альманах №3, 2007. – Барнаул: АлтГТУ, 2007. – С. 77-79.
2. Пронин С. П. Теоретические и визуальные экспериментальные исследования изменения контраста в изображении колеблющихся парных штрихов / С. П. Пронин и др. // Ползуновский альманах №2, 2009. – Барнаул: АлтГТУ, 2009. – С. 108-112.
3. Зрюмов, П. А. Программно-технический комплекс для исследования механических колебаний по динамике частотно-контрастной характеристики в изображении тест-объекта [Текст] : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 01.04.01 защищена: 31.05.12 / Зрюмов Павел Александрович; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова – Барнаул, 2012. – 22 с.
4. Юденков, А. В. Контроль частоты и размаха вибрации по изменению контраста в изображении штрихов пирамидальной миры [Текст] : автореферат дис. канд.техн. наук : 05.11.13 защищена: 29.12.09 / Юденков Андрей Владимирович; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2009. – 21 с.
5. Зрюмов, Е. А. Стробоскопический метод и средства контроля параметров вибрации техногенных объектов по изменению оптического контраста в изображении тест-объекта [Текст] : автореферат дис. ... доктора техн. наук : 05.11.13 / Зрюмов Евгений Александрович; Казан. гос. энергет. ун-т. – Казань, 2017. – 32 с.
6. Пронин С. П. Измерение параметров гармонических вибраций по стробоскопическому эффекту / С. П. Пронин и др. // Ползуновский альманах №2, 2010. – Барнаул: АлтГТУ, 2010. – С. 11-18.
7. Мирошников М. М. Теоретические основы оптико-электронных приборов [Текст] : Учебное пособие для вузов. – Ленинград: «Машиностроение», 1977. – 600 с.

Пронин Сергей Петрович – д.т.н., профессор, тел.: 8-913-085-96-65, e-mail: spronin@mail.ru
Герман Екатерина Васильевна – магистр АлтГТУ.