

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОБОСКОПИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА, ЗАРЕГИСТРИРОВАННОГО С ПОМОЩЬЮ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ВИДЕОКАМЕРЫ

Е. А. Зрюмов, П. А. Зрюмов, С. П. Пронин

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

Перспективным методом измерения параметров вибрации является оптический метод, основанный на регистрации с помощью видеокамеры стробоскопического эффекта. Суть данного метода заключается в поиске кадровой частоты видеокамеры, при которой наблюдается неподвижное изображение тест-объекта в виде набора парных штрихов. При этом частота вибрации равна кадровой частоте видеокамеры, размах вибрации можно определить по размытию изображения тест-объекта [1].

Распределение экспозиции на каждом кадре видеокамеры определяется количеством освещенности, накопленной на фотоприемнике за n -ый кадр, и равно [2]:

$$H(nT_{TV}) = -k_2 \cdot \frac{\pi}{T_0} \cdot \frac{R^2}{2} \cdot \frac{2\pi}{T_0} T_{TV} - k_2 \cdot \frac{\pi}{T_0} \cdot \left(\frac{R^2}{8} \sin\left(\frac{4\pi}{T_0}(n+1)T_{TV}\right) - \frac{R^2}{8} \sin\left(\frac{4\pi}{T_0}nT_{TV}\right) \right) + k_1 \cdot \frac{R}{2} \cdot \left(\sin\left(\frac{2\pi}{T_0}(n+1)T_{TV}\right) - \sin\left(\frac{2\pi}{T_0}nT_{TV}\right) \right) \quad (1)$$

где k_1 – коэффициент, характеризующий освещенность в статическом положении тест-объекта; k_2 – коэффициент, характеризующий вклад скорости в итоговую освещенность; R – размах вибрации; T_0 – период вибрации; T_{TV} – период смены кадров видеокамеры; n – номер кадра.

Как видно из формулы (1) распределение экспозиции не зависит от номера кадра, если период вибрации T_0 кратен половине периода смены кадров T_{TV} . Именно в этом случае и наблюдается стробоскопический эффект.

Как было показано выше, измерительным признаком при измерении частоты гар-

монической вибрации является стробоскопический эффект. Необходимо разработать методику регистрации стробоскопического эффекта. Так как стробоскопический эффект явление, происходящее во времени, следовательно, критерием его поиска является нахождение такой кадровой частоты видеокамеры, при которой изображение, полученное с видеокамеры, не будет изменяться во времени.

Для регистрации стробоскопического эффекта с помощью видеокамеры будем оценивать изменение границ изображения тест-объекта во времени. Оценкой изменения границ изображения может служить параметр D , равный дисперсии яркостей областей изображения:

$$D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{(L_{ij} - \bar{L}_j)^2}{n \cdot m}, \quad (2)$$

где n – количество временных отсчетов, m – количество анализируемых областей изображения тест-объекта, L_{ij} – значение яркости j -ой области в i -ый момент времени, L_j – среднее значение яркости j -ой области во времени. Удобно рассматривать параметр D , приведенный к максимальному значению, в этом случае он будет безразмерным и будет изменяться от нуля до единицы.

Проведем моделирование изменения параметра D от кадровой частоты видеокамеры при фиксированной частоте и размахе гармонической вибрации в соответствии с предложенной моделью формирования оптического сигнала в формуле (1).

Примем в (1) следующие начальные параметры: $k_1 = 1$, $k_2 = 0,1$, $T_0 = 1$, $R = 1$, $\varphi_0 = 0$, $n = 10$. Теоретическое изменение дисперсии экспозиции от соотношения периода смены кадров к периоду вибрации представлено на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1 теоретическое изменение экспозиции от соотношения периода смены кадров к периоду вибрации имеет периодический характер, причем дисперсия D равна нулю при периоде вибрации

T_0 кратной половине периода смены кадров T_{TV} , то есть 0,5, 1, 1,5 и 2 и так далее.

Изменение дисперсии в окрестности точек 1, 2 и так далее плавно изменяется от максимального значения до нуля, а затем также плавно возрастает, то есть данные точки являются минимумами.

Можно отметить, что изменение дисперсии в окрестности точек 0,5, 1,5 и так далее

резко падает от максимального значения до нуля, а затем также резко возрастает, то есть данные точки являются разрывами. Выше было доказано, что при периоде вибрации T_0 равном половине периода смены кадров T_{TV} изображение тест-объекта неустойчиво и получить стробоскопический эффект очень сложно даже при начальной фазе гармонических колебаний, равной нулю.

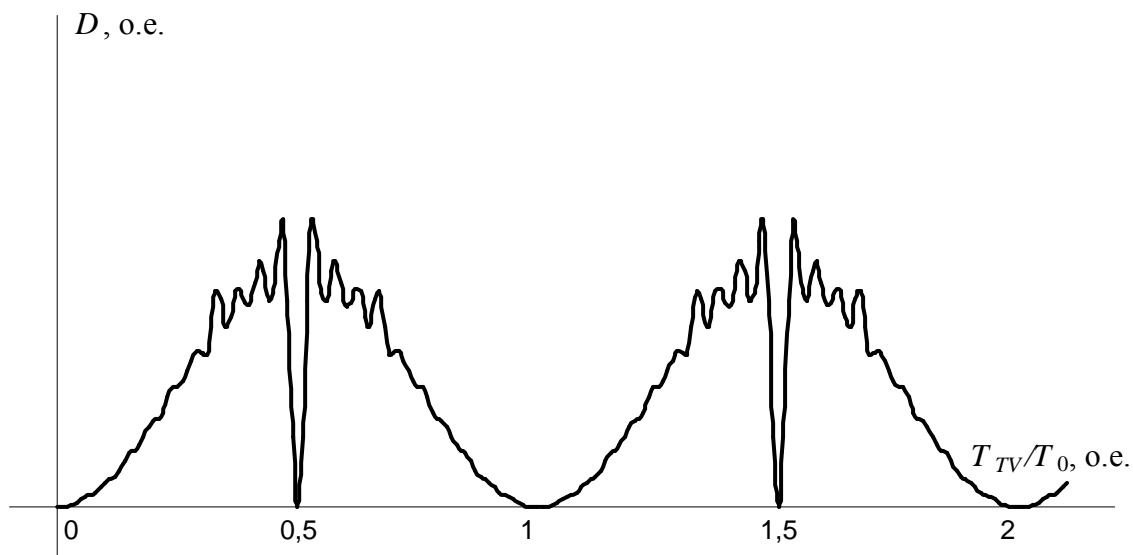


Рисунок 1 – Теоретическое изменение экспозиции от соотношения периода смены кадров к периоду вибрации при начальной фазе $\varphi_0 = 0$

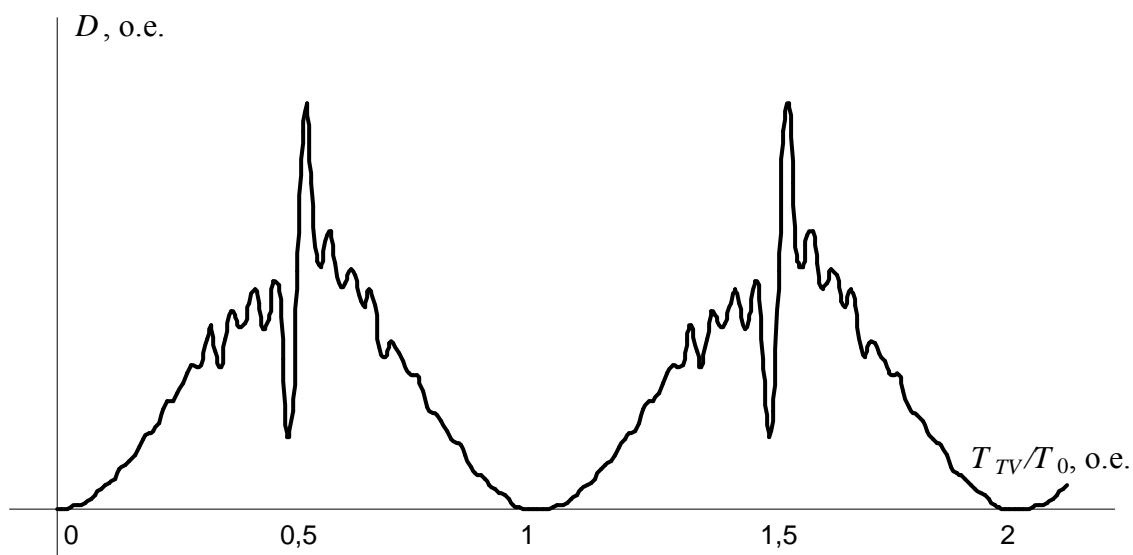


Рисунок 2 – Теоретическое изменение экспозиции от соотношения периода смены кадров к периоду вибрации при начальной фазе $\varphi_0 = \pi / 3$

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОБОСКОПИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА, ЗАРЕГИСТРИРОВАННОГО С ПОМОЩЬЮ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ВИДЕОКАМЕРЫ

На рисунке 2 представлено теоретическое изменение дисперсии экспозиции от соотношения периода смены кадров к периоду вибрации при начальной фазе гармонических вибраций $\varphi_0 = \pi / 3$.

Как видно из рисунка 2 теоретическое изменение экспозиции от соотношения периода смены кадров к периоду вибрации при начальной фазе гармонических вибраций $\varphi_0 = \pi / 3$ имеет также периодический характер, причем дисперсия D равна нулю только при периоде вибрации T_0 кратной периоду смены кадров T_{TV} , то есть 1, 2 и так далее. То есть неустойчивый стробоскопический эффект при отклонении начальной фазы гармонических

вибраций от нуля исчезает, хотя в окрестности точек 0,5, 1,5 и так далее наблюдаются резкие всплески, однако значение дисперсии не падает до нуля.

Следовательно, для измерения значения периода гармонических вибраций будем фиксировать стробоскопический эффект, полученный с помощью видеокамеры. Будем находить значения дисперсии яркостей областей изображения D для различных временных отсчетов для различных значений периода смены кадров видеокамеры, при этом минимальное значение дисперсии будет соответствовать периоду гармонических вибраций.

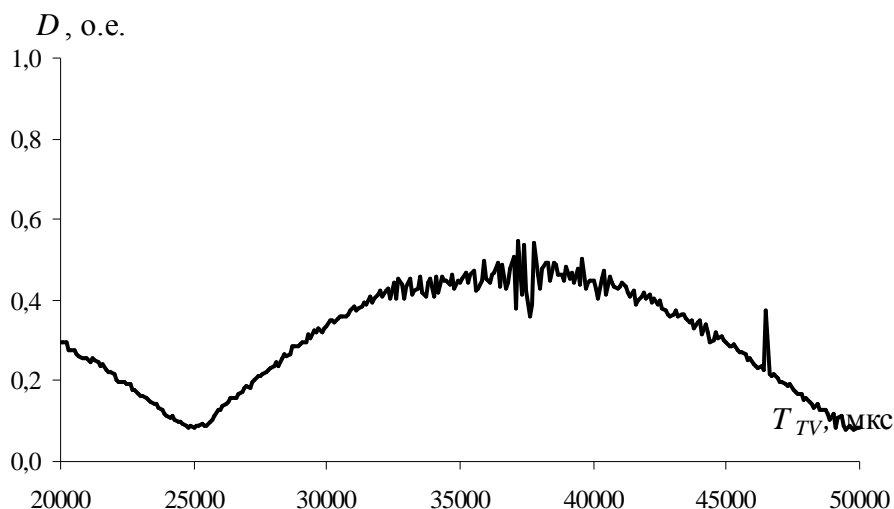


Рисунок 3 – Зависимость изменения параметра D от периода смены кадров видеокамеры T_{TV} при частоте вибрации объекта $f_0 = 40$ Гц ($T_0 = 25\ 000$ мкс)

На рисунке 3 представлена зависимость изменения коэффициента D от периода смены кадров видеокамеры T_{TV} при частоте вибрации объекта $f_0 = 40$ Гц ($T_0 = 25\ 000$ мкс). Как видно из рисунка минимальное значение коэффициента D соответствует периоду смены кадров видеокамеры $T_0 = 25\ 000$ мкс, равному периоду вибрации объекта. Как и было предсказано теоретически, если период смены кадров видеокамеры $T_0 = 37\ 500$ мкс, то есть в полтора раза больше периода вибрации объекта, то в этой точке зависимость изменения параметра D от периода смены кадров видеокамеры T_{TV} имеет локальный минимум. Однако значение параметра D в точке $T_0 = 37\ 500$ мкс больше, чем в точке $T_0 = 25\ 000$ мкс. Также на рисунке 3 видно, если период смены кадров видеокамеры $T_0 = 50\ 000$ мкс,

то есть в два раза больше периода вибрации объекта, то в этой точке зависимость изменения параметра D от периода смены кадров видеокамеры T_{TV} имеет локальный минимум, который близок по значению в точке $T_0 = 25\ 000$ мкс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пронин, С. П. Программно-аппаратный комплекс для измерения размаха и частоты гармонических вибраций / С. П. Пронин, Е. А. Зрюмов, А. В. Юденков, П. А. Зрюмов // Приборы и техника эксперимента – М. : Изд-во МАИК Наука. – 2010. – №2. – С. 151-152.
2. Зрюмов, Е. А. Модель смаза изображения при вибрациях / Е. А. Зрюмов, П. А. Зрюмов, С. П. Пронин // Ползуновский альманах. – Барнаул. : Изд-во АлтГТУ, 2011. – № 1. – С. 68-69.