

## КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ С ПОМОЩЬЮ РЕГИСТРАЦИИ СТРОБОСКОПИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ДЛЯ ЗАДАЧ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Е.А. Зрюмов, С.П. Пронин

*В статье рассматривается модель смаза изображения вибрирующего тест-объекта, основанная на стробоскопическом эффекте, которая используется для построения методов контроля параметров вибрации при равенстве частоты вибрации тест-объекта и кадровой частоты фотоприемника видеокамеры.*

*Ключевые слова: вибрация, изображение тест-объекта, смаз, стробоскопический эффект.*

На сегодняшний день при решении задач контроля параметров динамических процессов широко применяются высокоскоростные видеокамеры с целью получения как можно большего количества изображений объекта с последующей их обработкой, которая заключается в восстановлении изображения объекта и сравнении его с эталоном.

Смаз в этом случае является негативным фактором, который вызывает пониженную четкость и резкость изображения движущегося объекта из-за того, что за время экспозиции объект сдвигается относительно фотоприемника видеокамеры [1]. Однако при равенстве частоты вибрации тест-объекта и кадровой частоты фотоприемника видеокамеры смаз становится информативным параметром при контроле параметров динамических процессов [2, 3].

**Целью** работы является разработка модели смаза изображения вибрирующего тест-объекта, основанной на стробоскопическом эффекте, для дальнейшего контроля параметров вибрации.

Известны модели смаза изображения объекта при постоянной скорости его движения [4]. На практике при вибрациях объект может иметь изменяющуюся скорость. Рассмотрим процесс смаза изображения тест-объекта при гармонических вибрациях [5].

Очевидно, что чем выше скорость перемещения тест-объекта, тем меньше будет освещенность, зарегистрированная на фотоприемнике и наоборот. Следовательно, закон изменения освещенности можно представить в виде:

$$E(x(t)) = k_1 - k_2 \cdot x'(t). \quad (1)$$

где  $k_1$  – коэффициент, характеризующий освещенность в статическом положении тест-

объекта;  $k_2$  – коэффициент, характеризующий вклад скорости в итоговую освещенность.

Так как закон изменения координаты тест-объекта гармонический, то

$$x(t) = \frac{R}{2} \sin(2\pi f_0 t) = \frac{R}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} t\right), \quad (2)$$

$$x'(t) = \frac{2\pi}{T_0} \cdot \frac{R}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} t\right)$$

где  $R$  – размах вибрации,  $t$  – текущее время,  $f_0$  – частота гармонической вибрации,  $T_0$  – период гармонической вибрации.

Учтем, что освещенность определяется положением тест-объекта и зависит от его скорости, следовательно, чтобы решить задачу определения освещенности при вибрациях объекта, необходимо получить функциональную зависимость скорости от его положения:

$$\begin{aligned} x'(t) &= \frac{2\pi}{T_0} \cdot \frac{R}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} t\right) = \\ &= \frac{2\pi}{T_0} \cdot \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 - \left(\frac{R}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} t\right)\right)^2} = \\ &= \frac{2\pi}{T_0} \cdot \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 - x^2(t)}, \end{aligned} \quad (3)$$

тогда освещенность будет зависеть от координаты следующим образом:

$$E(x) = k_1 - k_2 \cdot \frac{2\pi}{T_0} \cdot \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 - x^2}. \quad (4)$$

Распределение экспозиции от координаты определяется количеством освещенности, накопленной на фотоприемнике за время

экспозиции, при котором тест-объект перемещается из точки  $x_1$  в  $x_2$ :

$$H(t) = \int_{x_1}^{x_2} E(x) dx = \int_{x_1}^{x_2} \left[ k_1 - k_2 \cdot \frac{2\pi}{T_0} \cdot \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 - x^2} \right] dx. \quad (5)$$

Данный интеграл имеет следующее решение:

$$H(t) = \left[ k_1 x - k_2 \cdot \frac{2\pi}{T_0} \left( \frac{x}{2} \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 - x^2} + \frac{R^2}{2} \arcsin \frac{2x}{R} \right) \right]_{x_1}^{x_2}.$$

В цифровых видеокамерах экспозиция дискретна и определяется временем экспозиции  $t_{\text{экс}}$ , причем через каждый период смены кадров  $T_{\text{TV}}$  она изменяется. Причем за

$$H(nT_{\text{TV}}) = \left[ k_1 x - k_2 \cdot \frac{2\pi}{T_0} \left( \frac{R^2}{2} \arcsin \frac{2x}{R} + \frac{x}{2} \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 - x^2} \right) \right]_{\frac{R}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T_0}(n+1)T_{\text{TV}}\right)}^{\frac{R}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T_0}nT_{\text{TV}}\right)} =$$

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

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

Как видно из данной формулы, распределение экспозиции не зависит от номера кадра, если период вибрации  $T_0$  кратен половине периода смены кадров  $T_{\text{TV}}$ . Именно в этом случае и наблюдается стробоскопический эффект. В этом случае вклад вибрации в выходное изображение тест-объекта можно рассматривать как характеристику вибрации изображения, не зависящую от времени и имеющую вид:

$$E'_B(x) = k_1 - k_2 \cdot \frac{2\pi}{T_0} \cdot \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 - x^2}. \quad (9)$$

В таблице 1 представлены характеристики вибрации для различных законов колебаний тест-объекта относительно плоскости фотоприемника видеокамеры. Как видно из таблицы 1, вид этой характеристики определяется параметрами  $k_1$ ,  $k_2$  и периодом вибрации  $T_0$ . Параметры  $k_1$ ,  $k_2$  являются свойствами фотоприемника видеокамеры, характери-

зующими его чувствительность к внешней засветке, и зависят от технологии изготовления. Если значение параметра  $k_2$  стремится к нулю, то характеристика вибрации  $w(x)$  вырождается в функцию прямоугольного импульса шириной, равной размаху вибрации  $R$ .

$$x_1 = \frac{R}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} n T_{\text{TV}}\right) \quad (6)$$

в точку

$$x_2 = \frac{R}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} (n T_{\text{TV}} + t_{\text{экс}})\right). \quad (7)$$

Если учесть, что в большинстве случаев период смены кадров  $T_{\text{TV}}$  равен времени экспозиции  $t_{\text{экс}}$ , данное выражение можно переписать в виде:

$$x_2 = \frac{R}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} (n+1) T_{\text{TV}}\right).$$

Тогда распределение экспозиции определяется количеством освещенности, накопленной на фотоприемнике за  $n$ -ый кадр, будет равно:

## ВЫВОД

Построена модель смаза изображения вибрирующего объекта, основанная на стробоскопическом эффекте. При этом фиксируется неизменяющееся во времени смазанное изображение тест-объекта, по которому можно определить как частоту, так и размах вибрации. Применение стробоскопического эффекта увеличивает диапазон частоты вибрации, так как не требует дискретизации гармонической функции с ее последующим восстановлением.

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ С ПОМОЩЬЮ РЕГИСТРАЦИИ  
СТРОБОСКОПИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ДЛЯ ЗАДАЧ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Таблица 1 – Характеристика вибрации  $w(x)$  для различных законов колебаний тест-объекта относительно плоскости фотоприемника видеокамеры

Характеристика вибрации $w(x)$	Графическое представление
<b>Закон вибрации гармонический</b>	
$k_1 - k_2 \frac{2\pi}{T_0} \cdot \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 - x^2}$	
<b>Закон вибрации линейный</b>	
$k_1 - k_2$	
<b>Закон вибрации экспоненциальный</b>	
$k_1 - k_2 \cdot \alpha \cdot x$	
<b>Закон вибрации степенной</b>	
$k_1 - k_2 \cdot 2 \cdot \sqrt{R \cdot x}$	

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихонычев, В. В. Функция передачи модуляции цифровой аэрофотосъемочной системы при движении изображения / В. В. Тихонычев, Ю. Г. Веселов, А. А. Данилин // Успехи современной радиоэлектроники. Зарубежная радиоэлектроника. – М. : Изд-во «Радиотехника», 2010. – № 1. – С. 44–47.

2. Зрюмов, Е. А. Анализ частотно-контрастной характеристики видеосистемы на основе ПЗС-фотоприемника при вибрации тест-объекта / Е. А. Зрюмов, С.П. Пронин // Известия вузов. Приборостроение – СПб . : Изд-во ИТМО. – 2013. – Т. 57, – № 3. – С. 81–85.

3. Пронин, С. П. Исследование изменения контраста в изображении вибрирующих парных штрихов с помощью ПЗС-фотоприемника / С. П. Пронин, Е. А. Зрюмов, П. А. Зрюмов // Известия Алтайского государственного университета – Барнаул : Изд-во АлтГУ. – 2012. – № 1/2. – С. 115–119.

4. Гребенников, О. Ф. Основы записи и воспроизведения изображения (в кинематографе) / О. Ф. Гребенников. – М. : Искусство, 1982. – 239 с.

5. Пронин, С. П. Теоретические основы оптических методов измерения и контроля параметров гармонической вибрации: монография / С. П. Пронин, Е. А. Зрюмов, П. А. Зрюмов; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2011. – 73 с.

**Зрюмов Е.А** – к.т.н., доцент кафедры «Информационные технологии» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, e-mail: e.zrjmov@mail.ru.

**Пронин С.П.** – д.т.н., профессор кафедры «Информационные технологии» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.