

МОДЕЛЬ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИБРАЦИИ ПРИ БЕСКОНТАКТНОМ КОНТРОЛЕ С ПОМОЩЬЮ ПЗС-ФОТОПРИЕМНИКА

Е.А. Зрюмов, С.П. Пронин, Р.С. Танков

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

В статье рассмотрена модель характеристики вибрации при бесконтактном контроле с помощью ПЗС-фотоприемника, основанная на анализе зависимости виброперемещения и виброскорости, а также с помощью языка программирования Python 2.6 реализована программа построения характеристики полигармонической вибрации.

Ключевые слова: полигармоническая вибрация, характеристика вибрации, смаз изображения, стробоскопический эффект, ПЗС-фотоприемник.

Одним из важных факторов формирования оптического изображения является вибрация, которая приводит к смазу изображения [1]. В большинстве случаев влияние вибрации стараются уменьшить, однако сам смаз может стать информативным параметром при измерении и контроле параметров вибрации на больших расстояниях до объекта измерения [2, 3]. Процесс построения оптических методов измерения и контроля параметров вибрации с применением ПЗС-фотоприемника требует разработки методики построения характеристики вибрации.

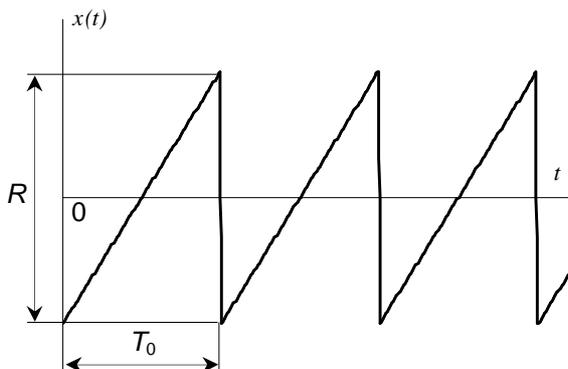


Рисунок 1 – Изменение положения тест-объекта при линейном законе вибрации

Рассмотрим процесс смаза изображения тест-объекта при самых простых вибрациях по линейному закону. В этом случае скорость вибрирующего тест-объекта постоянна и на каждом полупериоде меняет свой знак. В соответствии с [4] закон изменения освещенности, зарегистрированной на фотоприемнике,

при линейном законе вибрации можно представить в виде

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

Так как закон вибрации линейный, то на полупериоде $t = [0, T_0/2]$

$$x(t) = at, \quad (2)$$

$$x'(t) = a = const$$

где a – угловой коэффициент прямой.

В данном случае освещенность будет определяться только коэффициентами k_1 и k_2 , так как скорость тест-объекта постоянна, тогда освещенность можно представить следующим образом:

$$w(x) = k_1 - k_2. \quad (3)$$

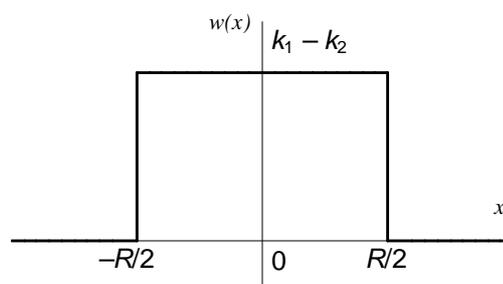


Рисунок 2 – Характеристика вибрации при линейном законе вибрации

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 :

$$H(t) = \int_{x_1}^{x_2} w(x) dx = \int_{x_1}^{x_2} [k_1 - k_2] dx. \quad (4)$$

Данный интеграл имеет простое решение:

$$H(t) = [k_1 - k_2] \cdot [x_2 - x_1]. \quad (5)$$

Из формулы (5) видно, что при регистрации стробоскопического эффекта на видеокамере, за времени экспозиции $t_{экс}$, равное периоду вибрации T_0 будет накапливаться одинаковое количество световой энергии.

На рисунке 2 представлена характеристика вибрации при линейном законе. Как видно из рисунка 2 вид этой характеристики отличается от характеристики гармонической

вибрации и определяется только параметрами k_1, k_2 , не зависит от периода вибрации T_0 . Характеристики вибрации $w(x)$ имеет вид прямоугольного импульса шириной, равной размаху вибрации R , и высотой, равной $k_1 - k_2$.

Однако не во всех случаях возможно найти аналитическую зависимость между виброперемещением и виброскоростью. В этом случае характеристику вибрации можно найти численными методами.

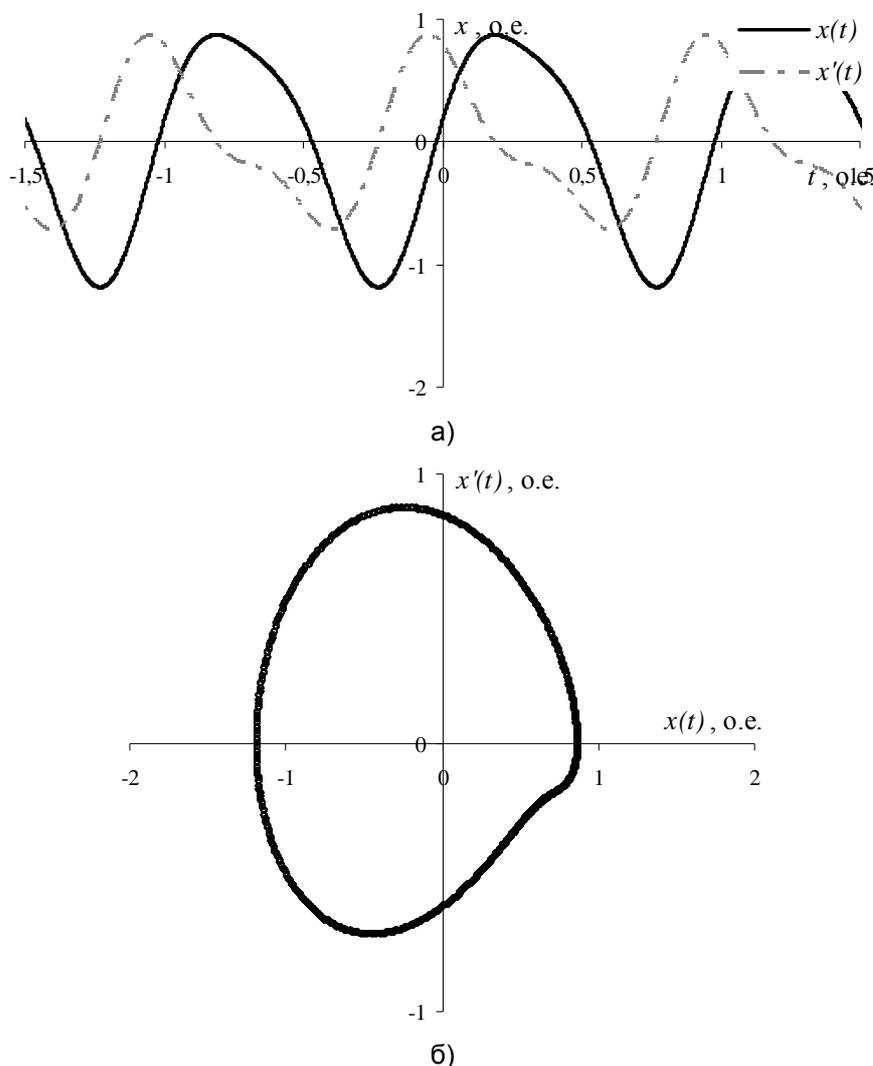


Рисунок 3 – График изменения виброперемещения и виброскорости во времени (а), изменения виброскорости от виброперемещения (б) при $a_1 = 1$ о.е., $f_1 = 1$ Гц, $\varphi_1 = 0$, $a_2 = 0,2$ о.е., $f_2 = 2$ Гц, $\varphi_2 = \pi/3$

Для этих целей на языке программирования Python 2.6 разработана программа, работающая следующим образом. Сначала с заданной точностью строится параметрическая зависимость от времени вибропереме-

щения и абсолютного значения виброскорости на интервале, соответствующем периоду вибрационного полигармонического процесса. Далее округляются значения виброперемещения с заданной точностью, на порядок

МОДЕЛЬ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИБРАЦИИ ПРИ БЕСКОНТАКТНОМ КОНТРОЛЕ С ПОМОЩЬЮ ПЗС-ФОТОПРИЕМНИКА

меньшей точности построения предыдущей зависимости. Затем во избежание дублирования данных удаляются значения виброперемещения и виброскорости, если соседние округленные значения виброперемещения одинаковы. Затем массивы, содержащие информацию о виброперемещении и виброскорости, сортируются по увеличению значения виброскорости. Далее этот массив анализируется, если два последовательных значения в упорядоченном массиве виброперемещений одинаковы, то есть тест-объект проходил через одну точку несколько раз, то дублирующиеся значения виброперемещения удаляются, а оставшемуся уникальному значению виброперемещения ставится в соответствие сумма значений виброскоростей с аналогичным виброперемещением. Таким образом, произведен переход к функциональной зависимости виброскорости от виброперемещения, показывающей, насколько быстро и интенсивно тест-объект проходил в заданной точке.

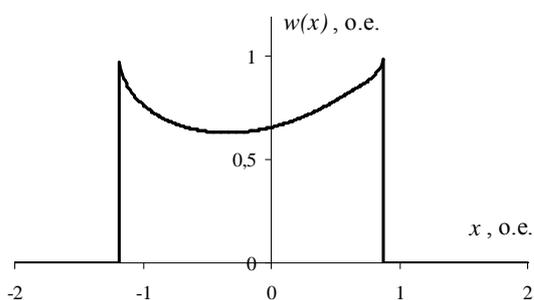


Рисунок 4 – Вид характеристики вибрации $w(x)$ при $a_1 = 1$ о.е., $f_1 = 1$ Гц, $\varphi_1 = 0$, $a_2 = 0,2$ о.е., $f_2 = 2$ Гц, $\varphi_2 = \pi/3$

Для того чтобы перейти к нахождению характеристике вибрации необходимо в соответствии с (1) умножить полученные значения виброскорости на отрицательное значение коэффициента k_2 , характеризующий вклад скорости в итоговую освещенность, и прибавить значение коэффициента k_1 , характеризующий освещенность в статическом положении тест-объекта. Рассмотрим другой случай, когда в вибрационном сигнале присутствует две гармоники: первая – амплитудой $a_1 = 1$ о.е., частотой $f_1 = 1$ Гц, начальной фазой $\varphi_1 = 0$, вторая – амплитудой $a_2 = 0,2$ о.е., частотой $f_2 = 2$ Гц, начальной фазой $\varphi_2 = \pi/3$ (рисунок 3, а).

Как видно из рисунка 3, б зависимость изменения виброскорости от виброперемещения претерпевает трансформации, теряя свойство симметрии относительно оси ординат. При этом центр масс образованной фигуры смещен влево по оси абсцисс, а в четвертом квадранте наблюдается отклонение фигуры от эллиптической формы. Все эти изменения сказываются на виде характеристики вибрации $w(x)$, представленной на рисунке 4.

Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы. Предложена методика определения характеристики вибрации $w(x)$, основанная на построении зависимости виброскорости от виброперемещения с дальнейшим ее преобразованием. Вид характеристики вибрации зависит как от количества гармоник в полигармоническом сигнале, так и от параметров каждой гармоники, включая амплитуду, частоту и начальную фазу. Задача получения характеристики вибрации является одной из ключевых в построении методов контроля параметров вибрации при регистрации стробоскопического эффекта в изображении тест-объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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.
3. Патент 2395792 Российская Федерация. Способ измерения параметров вибрации объекта / С. П. Пронин, Е. А. Зрюмов, А. В. Юденков. – Заявка №2009125845; опублик. 27.07.2010; Бюл. №6. – 5 с.: ил.
4. Зрюмов Е. А. Модель смаза изображения при вибрациях / Е. А. Зрюмов, П. А. Зрюмов, С. П. Пронин, А. А. Фадеев // Ползуновский альманах. – 2011. – №1. – С. 68-69.

Зрюмов Евгений Александрович – к.т.н., доцент, тел.: (3852) 29-09-13, e-mail: e.zrjumov@mail.ru; **Пронин Сергей Петрович** – д.т.н., профессор; **Танков Роман Сергеевич** – студент.