

# ИССЛЕДОВАНИЕ СОГЛАСОВАНИЯ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЯ ТЕСТ-ОБЪЕКТА И ЧАСТОТЫ ОПРОСА ПЗС – ФОТОПРИЕМНИКА ВИДЕОКАМЕРЫ

**Е. А. Зрюмов, П. А. Зрюмов, А. В. Юденков, С. П. Пронин**  
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

Механические колебания являются неотъемлемой составляющей нашей жизни. Вибрация как динамический процесс проявляется в различных областях: в сфере безопасности жизнедеятельности, в производственной сфере, на железнодорожном транспорте и т.д. В ряде случаев вибрационное воздействие носит разрушающий характер. Поэтому необходимо разрабатывать новые бесконтактные методы контроля параметров вибрации. Наиболее перспективным является направление разработки опико-электронных систем, однако, при этом возникает проблема согласования частоты колебания тест-объекта и частоты опроса ПЗС – фотоприемника видеокамеры [1, 2].

Спектр выходного сигнала не содержит частот, больших  $1/2T$ , на выходе системы применен реальный фильтр низких частот, пропускающий частоты большие  $1/2T$ . Следовательно, на выходе системы имеются искажения второго рода, вызванные наличием спектра сигнала ложных высокочастотных составляющих [3].

Сигнал содержит две частоты:  $W_0$  – исходная частота,  $(W_0 - 1/T)$  – ложная составляющая. Тогда спектр выходного сигнала можно представить в виде

$$S_{\text{вых}}(W) = \delta(W) + K_2(W) \frac{1}{2} \delta(W_0 - |W|) + K_2(W) \frac{1}{2} \delta\left(\frac{1}{T} - W_0 - |W|\right)$$

Значит, после обратного преобразования Фурье этой функции значение выходного сигнала имеет вид:

$$F_{\text{вых}}(t) = 1 + K_2(W_0) \cos 2\pi W_0 t + K_2\left(\frac{1}{T} - W_0\right) \cos 2\pi\left(\frac{1}{T} - W_0\right)t$$

Предположим, что частотная характеристика реального фильтра низких частот имеет следующий вид:

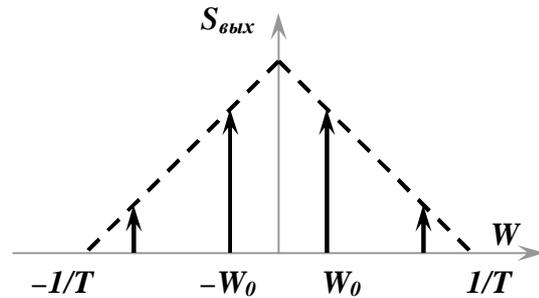


Рисунок 1 – Частотная характеристика

Следовательно, амплитуда выходного сигнала обратно пропорциональна частоте. Пренебрежем постоянной составляющей, получим

$$\begin{cases} F_{\text{вых}}(t) = (1 - TW_0) \cos 2\pi W_0 t - TW_0 \cos 2\pi\left(\frac{1}{T} - W_0\right)t, \text{ при } (1 - TW_0) > TW_0 \\ F_{\text{вых}}(t) = (1 - TW_0) \cos 2\pi W_0 t - TW_0 \cos 2\pi\left(\frac{1}{T} - W_0\right)t, \text{ при } (1 - TW_0) \leq TW_0 \end{cases}$$

Зная, что  $1/T$  равна 25 Гц, проведем численный эксперимент и сравним его с натурным для различных значений  $W_0$ .

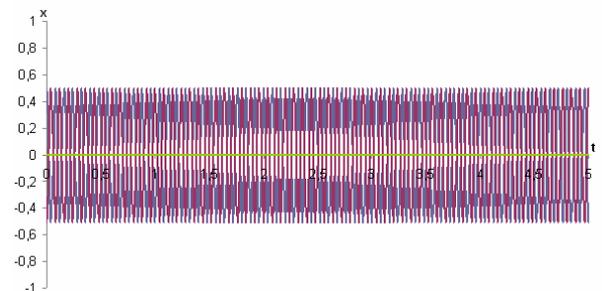


Рисунок 2 –  $W_0 = 12,5$  Гц

Если  $W_0 = 12,5$  Гц,  $(W_0 - 1/T) = 12,5$  Гц, тогда выходной сигнал имеет вид

$$F_{\text{вых}}(t) = 0,5 \cos 2\pi \cdot 12,5t - 0,5 \cos 2\pi \cdot 12,5t = 0$$

Следовательно, при  $W_0 = 12,5$  Гц никакого изменения координаты во времени не происходит.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОГЛАСОВАНИЯ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЯ ТЕСТ-ОБЪЕКТА И ЧАСТОТЫ ОПРОСА  
ПЗС – ФОТОПРИЕМНИКА ВИДЕОКАМЕРЫ

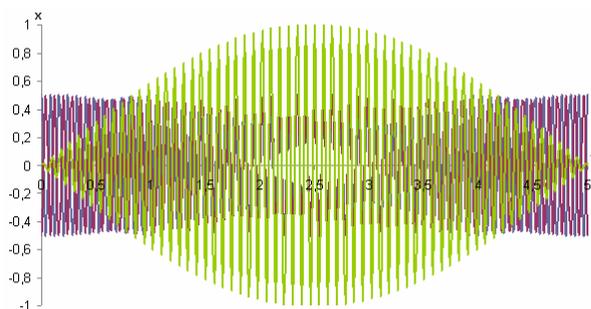


Рисунок 3 –  $W_0 = 12,4$  Гц

Если  $W_0 = 12,4$  Гц,  $(W_0 - 1/T) = 12,6$  Гц, тогда выходной сигнал имеет вид

$$F_{\text{вых}}(t) = 0,504 \cos 2\pi \cdot 12,4t - 0,496 \cos 2\pi \cdot 12,6t$$

Как видно из рисунка период изменения выходного сигнала во времени составляет 5 сек., причем при  $t = 5$  сек. амплитуда колебания равна нулю, а при  $t = 2,5$  сек. амплитуда колебания максимальна.

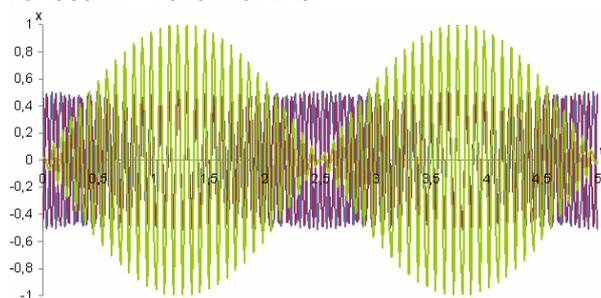


Рисунок 4 –  $W_0 = 12,3$  Гц

Если  $W_0 = 12,3$  Гц,  $(W_0 - 1/T) = 12,7$  Гц, тогда выходной сигнал имеет вид

$$F_{\text{вых}}(t) = 0,508 \cos 2\pi \cdot 12,3t - 0,492 \cos 2\pi \cdot 12,7t$$

Как видно из рисунка период изменения выходного сигнала во времени составляет 2,5 сек., причем при  $t = 2,5$  сек.  $t = 5$  сек. амплитуда колебания равна нулю, а при  $t = 1,25$  сек. и  $t = 3,75$  сек. амплитуда колебания максимальна.

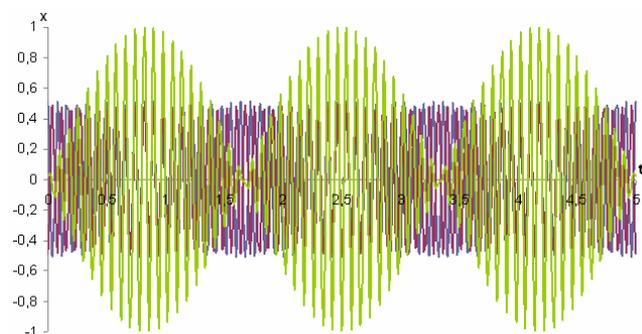


Рисунок 5 –  $W_0 = 12,2$  Гц

Если  $W_0 = 12,2$  Гц,  $(W_0 - 1/T) = 12,8$  Гц, тогда выходной сигнал имеет вид

$$F_{\text{вых}}(t) = 0,512 \cos 2\pi \cdot 12,2t - 0,488 \cos 2\pi \cdot 12,8t$$

Как видно из рисунка период изменения выходного сигнала во времени составляет примерно 1,67 сек., причем при  $t = 1,67$  сек.,  $t = 3,33$  сек. и  $t = 5$  сек. амплитуда колебания равна нулю, а при  $t = 0,83$  сек.,  $t = 2,5$  сек. и  $t = 4,17$  сек. амплитуда колебания максимальна.

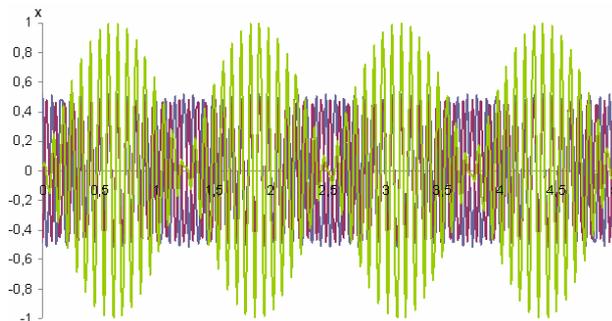


Рисунок 6 –  $W_0 = 12,1$  Гц

Если  $W_0 = 12,1$  Гц,  $(W_0 - 1/T) = 12,9$  Гц, тогда выходной сигнал имеет вид

$$F_{\text{вых}}(t) = 0,516 \cos 2\pi \cdot 12,1t - 0,484 \cos 2\pi \cdot 12,9t$$

Как видно из рисунка период изменения выходного сигнала во времени составляет 1,25 сек., причем при  $t = 1,25$ ; 2,5; 3,75; 5 сек. амплитуда колебания равна нулю, а при  $t = 0,625$ ; 1,875; 3,125; 4,375 сек. амплитуда колебания максимальна.

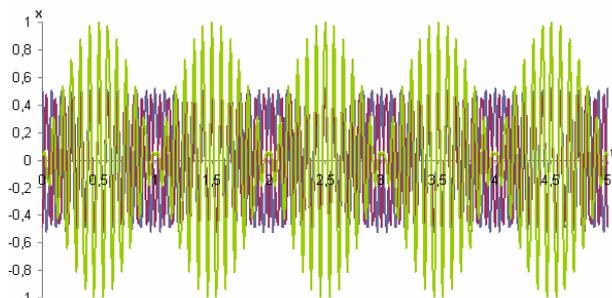


Рисунок 7 –  $W_0 = 12,0$  Гц

Если  $W_0 = 12,0$  Гц,  $(W_0 - 1/T) = 13,0$  Гц, тогда выходной сигнал имеет вид

$$F_{\text{вых}}(t) = 0,520 \cos 2\pi \cdot 12,0t - 0,480 \cos 2\pi \cdot 13,0t$$

Как видно из рисунка период изменения выходного сигнала во времени составляет 1 сек., причем при  $t = 1$ ; 2; 3; 4; 5 сек. амплитуда колебания равна нулю, а при  $t = 0,5$ ; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5 сек. амплитуда колебания максимальна.

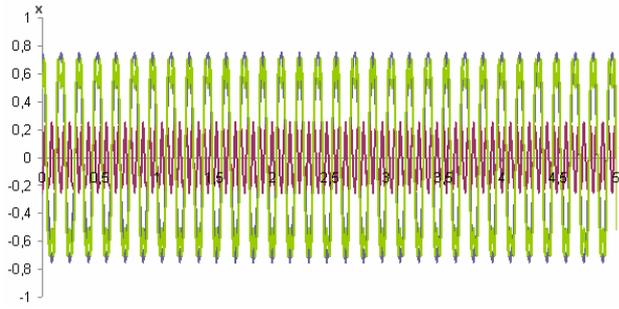


Рисунок 8 –  $W_0 = 6,25$  Гц

Если  $W_0 = 6,25$  Гц,  $(W_0 - 1/T) = 18,75$  Гц, тогда выходной сигнал имеет вид

$$F_{\text{вых}}(t) = 0,750 \cos 2\pi \cdot 6,25t - 0,250 \cos 2\pi \cdot 18,75t$$

Как видно из рисунка изменения выходного сигнала во времени происходит по гармоническому закону с незначительным вкладом высокочастотного шума.

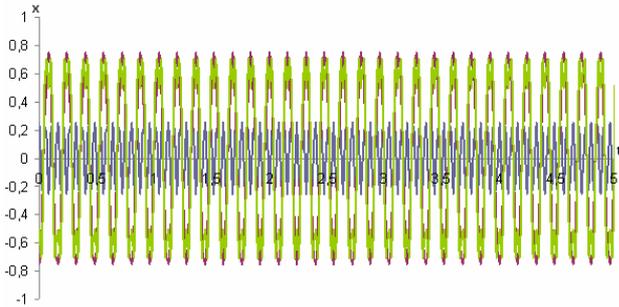


Рисунок 9 –  $W_0 = 18,75$  Гц

Если  $W_0 = 18,75$  Гц,  $(W_0 - 1/T) = 6,25$  Гц, тогда выходной сигнал имеет вид

$$F_{\text{вых}}(t) = 0,250 \cos 2\pi \cdot 18,75t - 0,750 \cos 2\pi \cdot 6,25t$$

Как видно из рисунка изменения выходного сигнала во времени происходит также по гармоническому закону с незначительным вкладом высокочастотного шума.

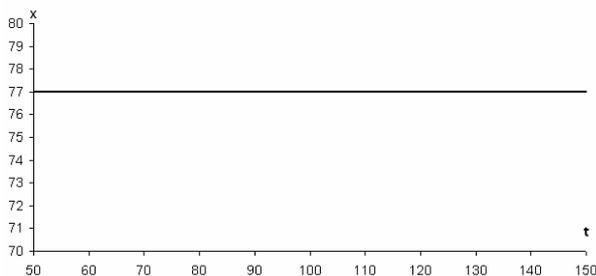


Рисунок 10 –  $f = 0$  Гц

Для экспериментальной проверки сделанных выводов создана экспериментальная установка, представляющая из себя вибростенд с расположенным на нем тест-объектом, изображение которого фиксируется с помощью видеокамеры, частота опроса ПЗС - фотоприемника видеокамеры 25 Гц.

С помощью данной установки получены зависимости изменения координаты тест-объекта от времени для различных частот колебания.

Как видно из рисунка при  $f = 0$  Гц получен тривиальный результат – положение тест-объекта не изменяется.

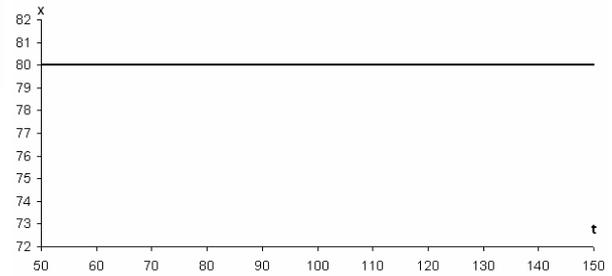


Рисунок 11 –  $f = 25$  Гц

При частоте колебания тест-объекта  $f = 25$  Гц положение изображения тест-объекта также не изменяется, что вполне согласуется с теорией и соответствует появлению стробоскопического эффекта.

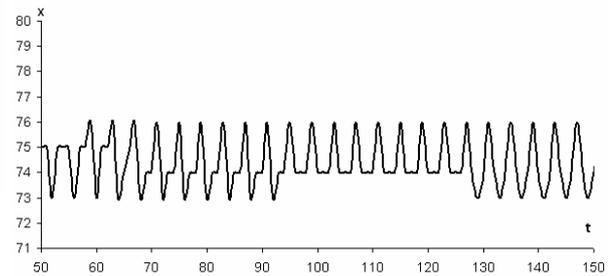


Рисунок 12 –  $f = 6,25$  Гц

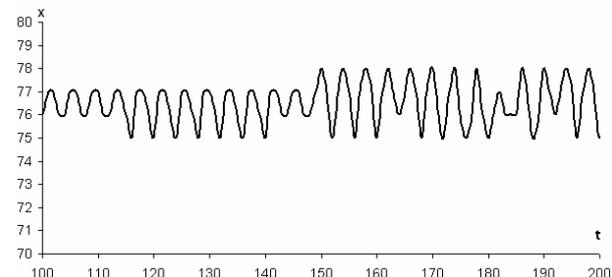


Рисунок 13 –  $f = 18,75$  Гц

При частоте колебания тест-объекта  $f = 6,25$  Гц и  $f = 18,75$  Гц положение изображения тест-объекта изменяется также по гармоническому закону с постоянной амплитудой. Следовательно, характер изменения положения изображения тест-объекта при частоте колебания тест-объекта  $f = 18,75$  Гц и  $f = 6,25$  Гц одинаков, что также подтверждено экспериментально.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОГЛАСОВАНИЯ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЯ ТЕСТ-ОБЪЕКТА И ЧАСТОТЫ ОПРОСА ПЗС – ФОТОПРИЕМНИКА ВИДЕОКАМЕРЫ

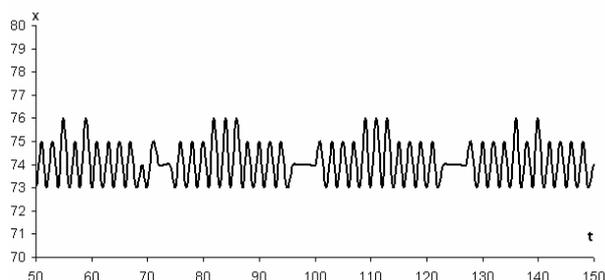


Рисунок 14 –  $f = 12$  Гц

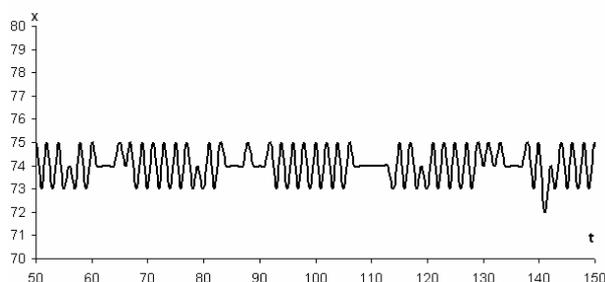


Рисунок 15 –  $f = 13$  Гц

При частоте колебания тест-объекта  $f = 12$  Гц и  $f = 13$  Гц зависимость положения изображения тест-объекта во времени имеет огибающую, узлы которой приходятся на  $t = 63$ ,  $t = 85$ ,  $t = 63$ ,  $t = 110$ ,  $t = 136$ . В этих точках положение изображения тест-объекта во времени не изменяется.

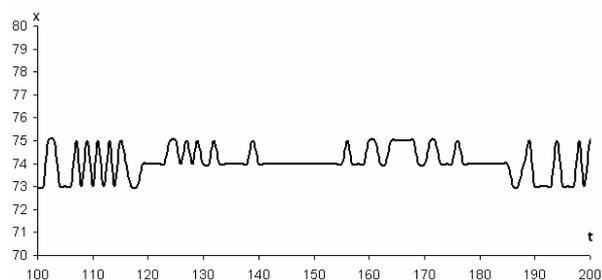


Рисунок 16 –  $f = 12,5$  Гц

При частоте колебания тест-объекта  $f = 12,5$  Гц, равной половине частоты опроса ПЗС – фотоприемника видеокамеры зависимость изменения положения изображения тест-объекта во времени имеет продолжительный участок, на котором положения изображения тест-объекта не изменяется. Затем положения изображения тест-объекта начинается колебаться. Это объясняется тем, что погрешность выставления частоты колебания вибростенда равна  $0,1$  Гц, рассогласование частоты колебания тест-объекта и частоты опроса ПЗС – фотоприемника видеокамеры на  $0,1$  Гц, как показано выше, приводит к исчезновению стробоскопического эффекта.

В данной статье теоретически и экспериментально проанализировано поведение положения изображения тест-объекта, колеблющегося на вибростенде, оценено рассогласование частоты колебания тест-объекта и частоты опроса ПЗС – фотоприемника видеокамеры, приводящее к исчезновению стробоскопического эффекта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иориш Ю.И. Виброметрия. М.: Машгиз, 1963.
2. Сизиков В.С. Устойчивые методы обработки результатов измерений. Учебное пособие. – СПб.: «СпецЛит», 1999.
3. Гребенников Основы кинозаписывающей аппаратуры. – М.: Искусство, 1982.