

РУЧНАЯ СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОСЦИЛЛОГРАММ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СПЕКТРОВ ВИБРАЦИИ

В. Ф. ГОРБУНОВ, А. И. ПАШНИН

Аппаратурный анализ спектров вибрации пневматических молотков возможно производить спектроанализаторами СИЧ, фирмы «Брюль и Кьер», FS_p 10a. Однако многие производственные и исследовательские организации не имеют этих дорогостоящих приборов. Поэтому предлагается использовать для немногочисленных по объему исследований вибрации пневматических молотков метод ручной статистической обработки. Кроме возможности получения спектров вибрации без применения дефицитной и громоздкой аппаратуры, этот метод обладает также и другими положительными качествами. А именно: он позволяет получить критерии вероятностной оценки спектров (дисперсию, среднеквадратическое отклонение, вероятность появления амплитуд и т. д.).

Рассмотрим метод получения спектров на примере виброскорости. Получение спектров смещения или ускорения аналогично, но для этих целей необходимо брать соответственно виброграммы смещения или ускорения.

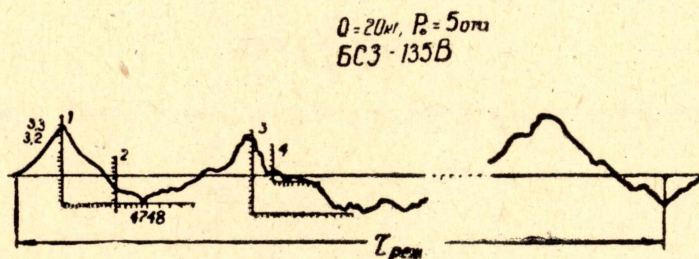


Рис. 1. Осциллограмма виброскорости рубильного молотка БСЗ-135В.

Метод ручной статистической обработки заключается в следующем. Обрабатываемая кривая разбивается на периоды, характерные идентичностью изменения формы кривой (рис 1), затем с помощью специального шаблона определяется частота каждого периода и амплитуды виброскорости. При наложении одной составляющей на другую (период 2) определяются параметры обеих составляющих (положение шаблона 3 и 4 на рис. 1). Таким образом, из сложной формы кривой выделяются

основные гармоники. По вертикальной оси шаблона отложены значения амплитуд скорости до 7 см/сек в зависимости от масштаба записи на виброграмме. По горизонтальной оси нанесены значения частот. Масштаб шкалы частот определяется выбранной скоростью движения фотопленки, т. е. скоростью развертки. А так как производится измерение не целого периода, а половины, то при подсчете масштаба значения частот должны быть увеличены вдвое. Таким образом, масштаб шкалы частот определится формулой

$$x_i = \frac{V}{2f_i},$$

где V — скорость развертки, см/сек ;

f_i — частота, гц ;

x_i — расстояние от начала отсчета до отметки, см . Масштаб шкалы амплитуд виброскорости полностью определяется чувствительностью датчика и строится по его калибровочной характеристике.

Расшифровка кривой виброскорости ведется следующим образом. Шаблон устанавливают так, чтобы его вертикальная линия проходила через максимум кривой перпендикулярно нулевой линии (положение шаблона 1 на рис. 1), а горизонтальная линия проходит через минимум кривой этого периода параллельно нулевой линии.

По шкале частот в месте касания кривой отсчитываем значение частоты и получаем в данном случае $f_i = 45\text{—}47 \text{ гц}$. Амплитуда определяется по вертикальной шкале. В данном случае она равна $3,2\text{—}3,3 \text{ см/сек}$. Полученные данные заносятся в таблицу, которая имеет количество строк, определяющихся исследуемым частотным диапазоном, а число столбцов зависит от точности получения амплитуд скорости. После отсчета виброскорости по шаблону данные отсчета заносятся в соответствующую ячейку таблицы. Далее производится измерение полупериода следующего колебания (рис. 1), положение шаблона 2. Получаем частоту $145\text{—}150 \text{ гц}$ и амплитуду (скорость) — $0,7\text{—}0,6 \text{ см/сек}$ и т. д. После завершения измерений обрабатываемого участка виброграммы пневмомолотка подсчитывается количество отметок в каждой ячейке таблицы, т. е. количество циклов колебаний в узком диапазоне частоты при постоянной амплитуде. Зная количество колебаний N_i и частоту f_i , определяем время действия данной частоты

$$\tau_i = \frac{N_i}{f_i}, \text{ сек.}$$

Далее определяется вероятность появления колебаний какой-либо частоты

$$p_i = \frac{\tau_i}{\tau_{\text{реж}}},$$

где $\tau_{\text{реж}}$ — общая продолжительность обрабатываемого участка виброграммы, подсчитываемая по масштабу записи и длине диаграммы,

$$\tau_{\text{реж}} = m_t l, \text{ сек.}$$

После определения вероятности появления частоты подсчитываем математическое ожидание амплитуды скорости на данной частоте

$$M(A_{v_i}) = \frac{\sum_{i=1}^n A_{v_i} p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \cdot \text{см/сек},$$

Таблица

Результаты ручной статистической обработки осциллограмм

| $f_i, \text{гц}$ | AV_i | | 0,2—0,4 | | 0,5—0,7 | | 0,7—0,9 | | 1,0—1,2 | | 1,3—1,5 | | 1,6—1,8 | | 1,9—2,2 | | 2,3—2,5 | | 2,6—3,5 | | $\frac{9}{\sum_1 P_i}$ | $M(AV_i)$ |
|------------------|--------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|------|------------------------|-----------|
| | N_1 | P_1 | N_2 | P_2 | N_3 | P_3 | N_4 | P_4 | N_5 | P_5 | N_6 | P_6 | N_7 | P_7 | N_8 | P_8 | N_9 | P_9 | | | | |
| 30—33 | | | | | | | | | | | | | 1 | 0,075 | 2 | 0,05 | 1 | 0,075 | 0,30 | 3,32 | | |
| 37—42 | | | | | | | | | | | | | | | | | 3 | 0,41 | 0,41 | 3,48 | | |
| 46—47 | | | | | | | | | | | 1 | 0,075 | 1 | 0,085 | 1 | 0,085 | 1 | 0,085 | 0,34 | 2,61 | | |
| 53—65 | | | | | | | | | | | 1 | 0,055 | 1 | 0,055 | 1 | 0,055 | | | 0,165 | 2,30 | | |
| 90—120 | | | | | 1 | 0,030 | 2 | 0,061 | 1 | 0,031 | | | | | 1 | 0,030 | 1 | 0,030 | 0,182 | 1,66 | | |
| 180—210 | 1 | 0,014 | | | 3 | 0,043 | | | 1 | 0,014 | | | | | | | | | 0,072 | 0,87 | | |
| 240—250 | 1 | 0,01 | 2 | 0,01 | 2 | 0,02 | | | | | | | | | | | | | 0,04 | 0,70 | | |
| 275—300 | 5 | 0,056 | 2 | 0,022 | 1 | 0,011 | | | | | | | | | | | | | 0,089 | 0,67 | | |
| 370—400 | 8 | 0,08 | 4 | 0,04 | 3 | 0,03 | 1 | 0,01 | | | | | | | | | | | 0,16 | 0,53 | | |
| 920—930 | 12 | 0,045 | 3 | 0,01 | | | | | | | | | | | | | | | 0,055 | 0,68 | | |
| 1850—1950 | 29 | 0,003 | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,003 | 0,32 | | |

где $M(A_{v_i})$ — математическое ожидание амплитуды виброскорости, см/сек;
 A_{v_i} — конкретные (частные) значения амплитуд виброскорости, см/сек.

Зная математические ожидания виброскорости для соответствующих частот, строим дискретный спектр виброскорости.

Для оценки соответствия полученного спектра виброскорости реальному процессу необходимо знать дисперсию и среднее квадратичное отклонение. Дисперсия (характеристика рассеивания амплитуды скорости вокруг математического ожидания) определяется по формуле

$$D(A_{v_i}) = \frac{\sum_{i=1}^n [A_{v_i} - M(A_{v_i})]^2 p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}.$$

Среднеквадратическое отклонение

$$\sigma(A_{v_i}) = \sqrt{D(A_{v_i})}.$$

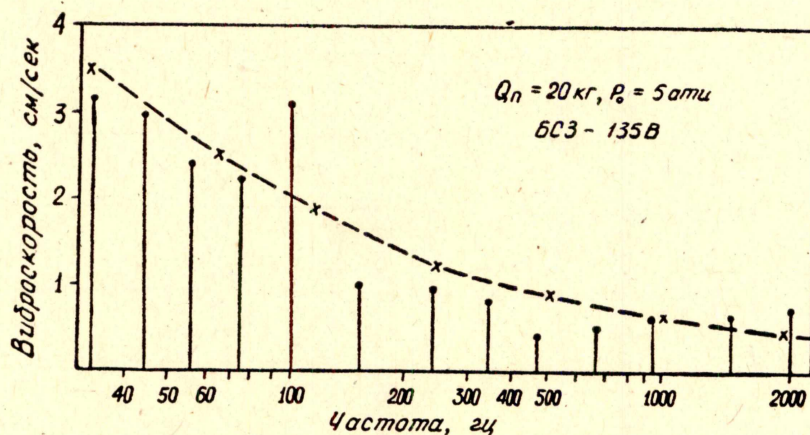


Рис. 2. Спектр пневмомолотка БСЗ-135В при $Q=20$ кг, $p_0=5$ атм

Вероятность появления частоты, величина математического ожидания и среднее квадратическое отклонение полностью характеризуют действующую вибрацию. Например, при исследовании кривой (рис. 1) оказалось, что на частотах 46—47 гц встретились 4 составляющих (гармоники) колебания с амплитудами 1,7 мм, 1,9 мм, 2,5 мм и 2,8 мм. Сначала подсчитываем вероятность появления этой частоты, если продолжительность режима $\tau_{\text{реж}} = 0,3$ сек.

$$\sum_{i=1}^n p_i = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{\tau_{\text{реж}}} = \frac{\left(\frac{1}{46,5} + \frac{1}{46,5} + \frac{1}{46,5} + \frac{1}{46,5}\right)}{0,3} = 0,34.$$

Далее находим математическое ожидание амплитуды виброскорости

$$M(A_{v_i}) = \frac{1,9 \cdot 0,085 + 1,7 \cdot 0,085 + 2,5 \cdot 0,085 + 2,8 \cdot 0,085}{0,34} = 2,61 \text{ см/сек.}$$

Дисперсия определится формулой

$$D(A_{v_i}) = \frac{[(1,9 - 2,61)^2 \cdot 0,085 + (2,5 - 2,61)^2 \cdot 0,085]}{0,34} +$$

$$+ \frac{(1,7-2,61)^2 \cdot 0,085 + (2,8-2,61)^2 \cdot 0,085}{0,34} = 0,317 \text{ см}^2/\text{сек}^2.$$

Величина среднеквадратического отклонения

$$\sigma(A_{v_i}) = \sqrt{0,317} = 0,56 \text{ см/сек.}$$

Изложенная выше методика применяется при анализе вибрации пневматических молотков как серийного исполнения, так и опытных.

Результаты обработки осциллограммы (рис. 1) приведены в таблице. На основе данных таблицы построен спектр виброскорости молотка БСЗ-135В, показанный на рис. 2.

Как следует из рис. 3 и таблицы, спектр виброскорости молотка БСЗ-135В в диапазоне частот до 2 кгц соответствует санитарным нормам 1966 г.