

# МАШИНОВЕДЕНИЕ, СИСТЕМЫ ПРИВОДОВ И ДЕТАЛИ МАШИН

УДК 60.001.11:531.8

Кудин В.В., Авсиевич А.М., Иванов А.Ю.

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ВИБРОКТИВНОСТЬ МНОГОАГРЕГАТНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Белорусский национальный технический университет*

*г. Минск, Беларусь*

*Рассмотрены подходы к проектированию системы виброизоляции многоагрегатного оборудования. Связанные между собой объекты предлагается объединить с помощью единого постаменты достаточной массы и высокой жесткости. Для конструирования виброзащиты такой системы необходимо провести измерения виброакустического воздействия среды на объект виброзащиты. Измеренные параметры виброакустического воздействия раскладывают в ряд Фурье. Порядок расчета виброзащиты объекта в этом случае заключается в проведении расчетов по отдельным гармоникам внешнего возмущающего воздействия.*

Возрастание скоростных и динамических нагрузок в современных металлорежущих агрегатах обуславливает повышенные требования к вибро- и ударозащитным системам такого оборудования. Проектирование оптимальной виброзащитной системы заключается в выборе необходимого количества виброизоляторов с требуемыми характеристиками и в их расположении относительно виброизолируемого объекта так, чтобы все шесть собственных частот колебаний системы вдоль и вокруг координатных осей в пространстве соответствовали спектру частоты внешнего вибровозбуждения.

Функционально связанные между собой многоагрегатные объекты машиностроения предлагается объединить с помощью единого постаменты достаточной массы и высокой жесткости. Это позволяет уменьшить количество независимых обобщенных координат до шести, а виброакустическое воздействие окружающей среды на объект представить в полигармоническом виде, что характерно для большинства подвижных объектов.

Виброакустическое воздействие среды на объект виброзащиты предполагается получить современными средствами измерений в процессе вибродиагностики окружающего пространства. В этом случае вибрационное воздействие представляет собой массив значений одного из параметров: возмущающей силы, виброперемещения, виброскорости, виброускорения. В связи с этим возникнет потребность в разработке методики обработки массива значений параметра вибрационного воздействия на объект виброзащиты. Обработка результатов измерений параметров виброакустического воздействия производится на основе методик [1,2] с помощью компьютерной программы. Исходные данные является массив значений  $M(t_i; F_i)$ , который в табличном виде записывается в исходный файл (рис. 1.). Здесь  $i = 1 \dots n$ ;  $n$  – количество экспериментальных значений;  $F_i$  – вынуждающая сила;  $t_i$  – время.

Время задаётся в возрастающем порядке и может не иметь равный шаг. Далее на основе введённых данных проводим интерполяцию, что позволит увеличить точность аппроксимации. Для определения шага интерполяции по времени  $h^*$  в первую очередь выберем минимальный промежуток  $\Delta_p$  (где  $p = 1 \dots n-1$ ) между значениями времени  $t_i$ . В случае неравномерного задания по времени, это позволит получить массив точек  $M^*(t_i^*; F_i^*)$  в котором найдётся такая точка в момент времени  $t_i^*$  значение которого приблизительно равно или равно такому значению  $t_i$ , где значение  $F_i^*$  будет близко или полностью совпадёт со значение  $F_i$  ( $i = 1 \dots n^*$ ).

$$T = t_n - t_1, \quad (1)$$

Таблица Экспериментальных данных		
Счётчик	Время	Сила
1	0	50
2	1	300
3	2	400
4	3	400
5	4	400
6	5	200
7	6	0
8	7	-50
9	8	-100
10	9	-150
11	10	-100
12	11	-100
13	12	0

Рис. 1. Пример задания данных

$$h^* = \frac{\min(\Delta \rho)}{q}, \quad (2)$$

$$n^* = \frac{T}{h^*}, \quad (3)$$

где  $T$  – период;

$q$  – коэффициент интерполяции;

$n^*$  – количество значений в массиве  $M^*$ .

Коэффициент интерполяции  $q$  имеет оптимальное значение от 4 до 10. Выбор коэффициента определяется в зависимости от необходимого вида функции. При уменьшении  $q$  график функции имеет более плавные перегибы, но заметно отличается от графика функции массива  $M$ . Это видно из рис. 2.-4.

Интерполяцию будем проводить, используя уравнения прямой:

$$y = a \cdot x + b \quad (4)$$

Зная координаты точки  $A(x_1, y_1)$  и  $B(x_2, y_2)$ , через которые проходит прямая, можно составить систему из двух уравнений, для определения  $a$  и  $b$

$$\begin{cases} y_1 = a \cdot x_1 + b \\ y_2 = a \cdot x_2 + b \end{cases} \quad (5)$$

Из системы получаем уравнения для нахождения коэффициентов прямой:

$$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}, \quad (6)$$

$$b = y_1 - a \cdot x_1 = y_2 - a \cdot x_2. \quad (7)$$

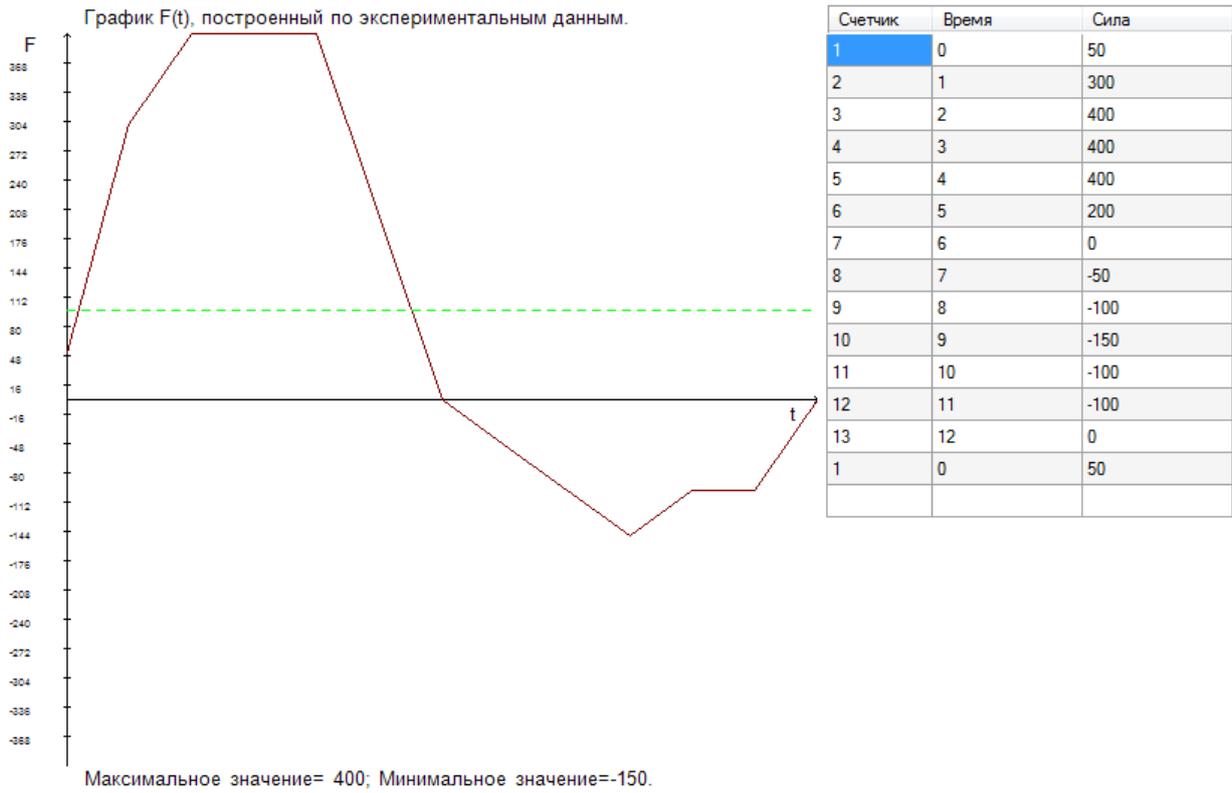


Рис. 2. График, построенный по исходным данным



Рис. 3. График интерполированной функции при коэффициенте  $q = 4$

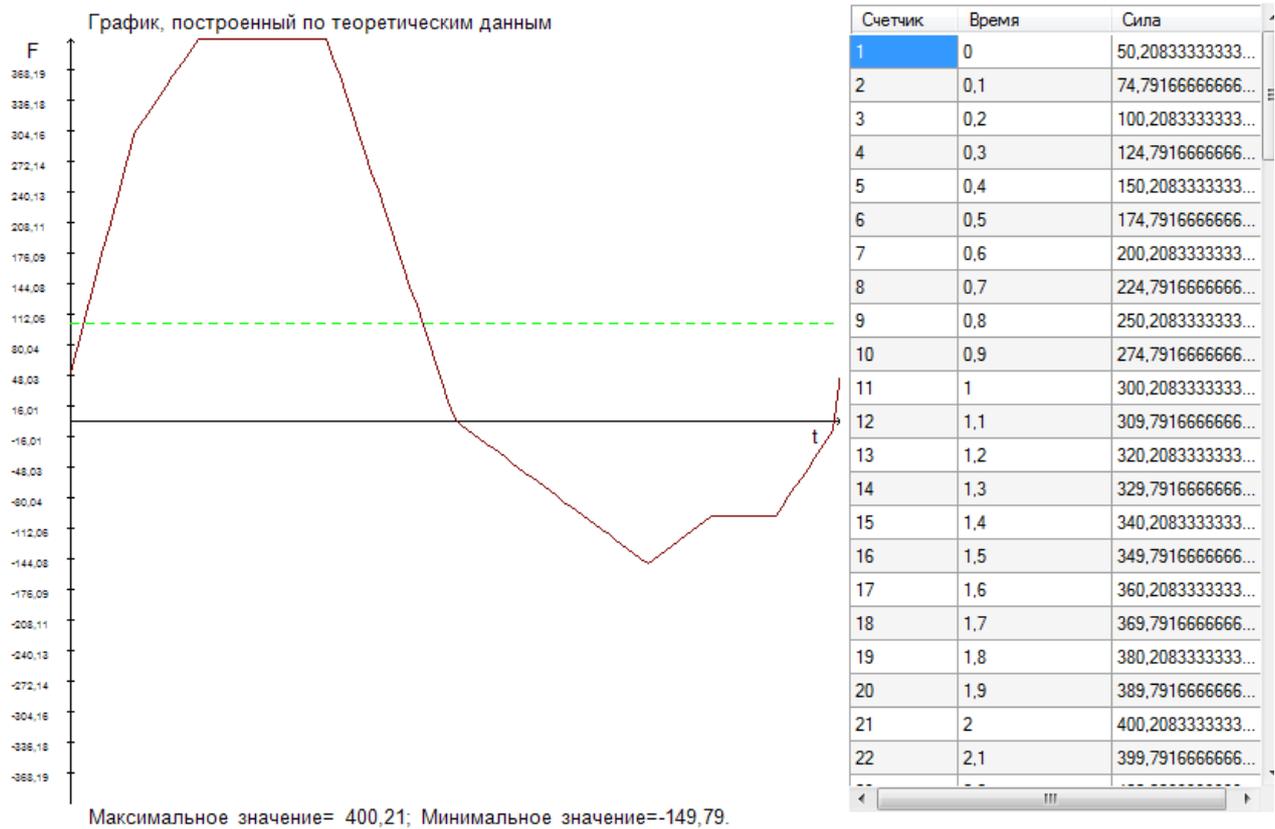


Рис. 4. График интерполированной функции при коэффициенте  $q = 10$

За  $y$  принимаем вынужденную силу  $F_i^*$ , за  $x$  – время  $t_i^*$ . Первым этапом интерполяции будет нахождение уравнений прямых, используя данные массива  $M$ .

$$a_l = \frac{F_{l+1} - F_l}{t_{l+1} - t_l}, \quad l = \overline{1, (n-1)}, \quad (8)$$

$$b_l = F_l - a_l. \quad (9)$$

На втором этапе используя полученный шаг интерполяции по времени  $h^*$ , найдем все новые значения времени  $t_i^*$ :

$$t_i^* = t_1 + h^* \cdot (i-1); \quad i = \overline{1, n^*} \quad (10)$$

На последнем этапе найдём все новые значения  $F_i^*$ :

$$F_i^* = a_l \cdot t_i^* + b_l \text{ при } t_l < t_i^* < t_{l+1}. \quad (11)$$

Для реализации описанного алгоритма интерполяции создана программа на языке C++.

Теперь, имея массив  $M$  с интерполированными значениями, переходим к аппроксимации, используя тригонометрический ряд Фурье. Экспериментально было доказано, что оптимальное число гармоник  $K$  равно половине количества значений

$$K = \frac{n^*}{2}. \quad (12)$$

Количество теоретических значений  $N$  определяется соотношением периода  $T$  к заданному шагу разбиения  $s$

$$N = \frac{T}{s}. \quad (13)$$

Для лучшего результата достаточно выполнения следующего условия

$$s < \min(\Delta_\rho). \quad (14)$$

Находим коэффициенты Фурье:

$$a_0 = 2 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n f_i^*}{n^*}, \quad i=1 \dots n^*, \quad (15)$$

$$a_k = 2 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (f_i^* \cdot \cos(\frac{2\pi k(i-1)}{n^*}))}{n^*}, \quad k=1 \dots K; \quad (16)$$

$$b_k = 2 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (f_i^* \cdot \sin(\frac{2\pi k(i-1)}{n^*}))}{n^*}. \quad (17)$$

В конечном итоге находим все теоретические значения

$$\tau_j = t_1 + (j-1) \cdot s, \quad (18)$$

$$F_j = a_0 + \sum_{k=1}^K \left[ a_k \cdot \cos\left(\left(\frac{2\pi}{T}\right) \cdot \tau_j\right) + b_k \cdot \sin\left(\left(\frac{2\pi}{T}\right) \cdot \tau_j\right) \right]; \quad j=1 \dots N, \quad (19)$$

где  $F_j$  – вынуждающая сила (теоретическая),

$\tau_j$  – время (теоретическое).

Реализация алгоритма разложения в ряд Фурье также осуществляется разработанной компьютерной программой.

Выполненные исследования массива значений параметров вибрационного воздействия на объект виброзащиты позволяют представить это воздействие в виде суммы гармоник, количество которых ограничивается спектром собственных частот и условиями эксплуатации объекта. Амплитуда, частота и сдвиг фазы каждой гармоники рассчитываются программой и выводятся в отдельный файл. Пользователь может визуализировать параметры и график для любой из рассчитанных гармоник (рис. 5.). Для удобства анализа на график каждой гармоники отображается значение постоянного коэффициента  $a_0$ .

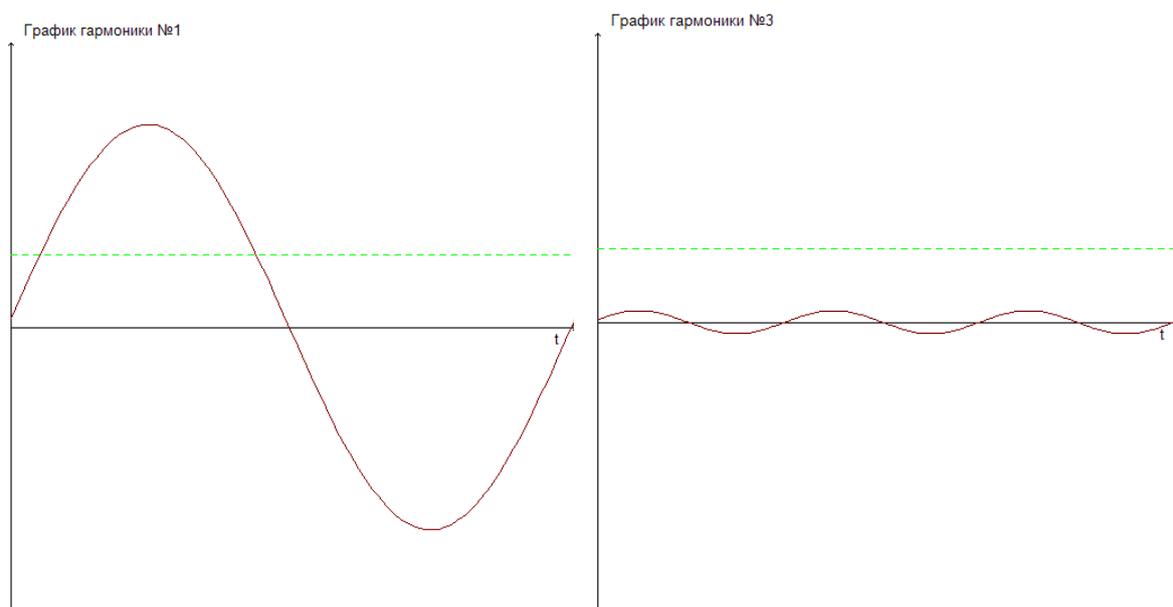


Рис. 5. Пример представления произвольно выбранных гармоник после разложения параметра вибрационного воздействия в ряд Фурье

Порядок расчета виброзащиты объекта в этом случае заключается в проведении расчетов по отдельным гармоникам внешнего возмущающего воздействия.

#### Литература

1. Вибрации в технике: справочник: в 6 т./ под ред. К. В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1981. Т. 6 : Защита от вибраций и ударов. – 456 с.
2. Ильинский, В.С. Защита РЭА и прецизионного оборудования от динамических воздействий/ В.С. Ильинский. – М. : Радио и связь, 1982. – 296 с.

УДК 551.326.8

Нусипали Р.К.

#### **ЛЕДОБОЙНАЯ УСТАНОВКА**

*Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати,*

*г. Тараз, Республика Казахстан*

*В статье рассматривается вопрос ликвидации зажорно-заторных явлений на реках. В статье приводится новый установка для разрушения ледяных заторов, который относится к ледотехнике основанный на использовании энергии взрыва пороха, который осуществляется с помощью инженерных конструкций. Ледобойная установка предназначена для ликвидации заторообразования путем создания под ледяным покровом более сильного динамического воздействия, содержащая жесткую несущую раму и ледобойный снаряд.*

На многих реках текущих с юга на север во время весеннего ледохода часто образуются ледяные заторы – скопление льда в русле реки. Ледяные заторы вызывают уменьшение живого сечения реки и приводят к повышению уровня воды в местах возникновения и в некотором районе выше него, что может привести к наводнениям. Наиболее негативными последствиями ледяных заторов являются: наводнения, повреждение гидротехнических сооружений и речных судов.

Предлагаемое устройство для ликвидации заторообразования направлено на решение вопросов более эффективного пути борьбы в области заторообразования на реках.