

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОБРАЗА ВИБРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА С АСИММЕТРИЧНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ

Герасимов М.Д., Рязанцев В.Г.

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
Белгород*

Ключевые слова: асимметричные колебания, коэффициент асимметрии, вынуждающая сила, кусочно-гладкая функция, ряд Фурье.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы формирования образа вибрационного устройства с асимметричными колебаниями на основе метода разложения кусочно-гладкой функции в ряд Фурье и на основе метода разложения величины суммарной вынуждающей силы, действующей в направлении выполнения полезной работы с заданным коэффициентом асимметрии, на составляющие, которые позволяют формировать образ всего вибрационного устройства на стадии предварительного проектирования.

METHODS FOR FORMING AN IMAGE OF A VIBRATION DEVICE WITH ASYMMETRIC VIBRATIONS

Gerasimov M.D., Ryazantsev V.G.

Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shukhov, Belgorod

Keywords: asymmetric vibrations, asymmetry coefficient, driving force, piecewise smooth function, Fourier series.

Abstract. The article deals with the formation of an image of a vibration device with asymmetric oscillations based on the method of expanding a piecewise-smooth function in a Fourier series and on the basis of the method of expanding the value of the total driving force acting in the direction of performing useful work with a given asymmetry coefficient, into components that allow you to form an image of the entire vibration device at the preliminary design stage.

Введение. Наряду с вибраторами с круговыми и с направленными колебаниями, всё большее распространение получают вибрационные устройства с асимметричными колебаниями, с асимметричной вынуждающей силой. Особенностью таких вибрационных устройств является превышение величины составляющей вынуждающей силы, действующей в направлении выполнения полезной работы, F_{np} , над величиной составляющей вынуждающей силы, действующей в направлении выполнения холостого хода, F_{xx} , в некоторое число раз. Такое соотношение называем [1] коэффициентом асимметрии вынуждающей

силы и обозначаем как $k_{ac} = \frac{F_{np}}{F_{xx}}$, где F_{np} и F_{xx} – модули значений.

Асимметричные колебания часто интерпретируются в виде кусочно-линейной функции с заданными параметрами асимметрии и продолжительности действия вынуждающей силы в направлении выполнения полезной работы и в направлении выполнения холостого хода. Такое представление асимметричных колебаний можно считать «идеальным» [2] законом движения рабочего органа исполнительного механизма вибромашины. Разлагая кусочно-гладкую функцию

в ряд Фурье [3-5] и выделяя некоторое количество слагаемых ряда, можно с достаточной для технических задач точностью реализовать такую функцию, сложением тригонометрических функций, в вибрационных устройствах.

Целью статьи является численные расчёты, позволяющие выполнить формирование на этапе предварительного проектирования образа вибрационного устройства с асимметричными колебаниями с коэффициентом асимметрии $k_{ac} = 2.0$ методом разложения кусочно-линейной функции в ряд Фурье и методом разложения величины суммарной вынуждающей силы, действующей в направлении выполнения полезной работы с заданным коэффициентом асимметрии, на составляющие [6].

Методика. При решении сформулированных цели и задач в статье использованы классические методы анализа и их технического приложения.

Основная часть. Выберем некоторую кусочно-гладкую функцию [6], заданную графически (рис. 1).

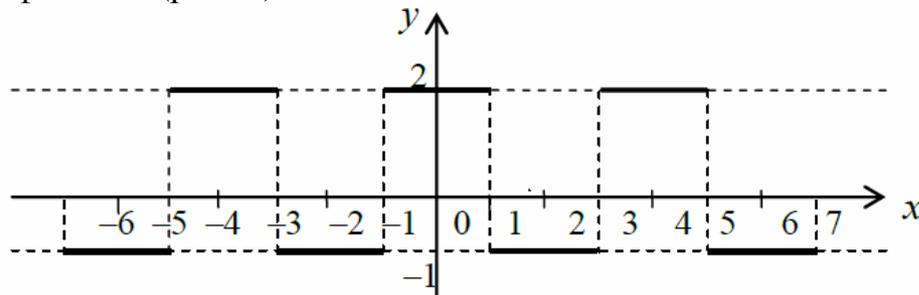


Рис.1. График вынуждающей силы с коэффициентом асимметрии $k_{ac} = 2,0$

Разложение данной функции в ряд Фурье имеет вид:

$$f(x) = \frac{1}{2} + \frac{6}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n \cdot \pi}{2}}{n} \cdot \cos \frac{n \cdot \pi \cdot x}{2}. \quad (1)$$

Используем для расчёта первые пять слагаемых

$$f(x) = \frac{1}{2} + \frac{6}{\pi} \left(\begin{array}{l} \frac{\sin \frac{1 \cdot \pi}{2}}{1} \cdot \cos \frac{1 \cdot \pi \cdot x}{2} + \frac{\sin \frac{2 \cdot \pi}{2}}{2} \cdot \cos \frac{2 \cdot \pi \cdot x}{2} + \frac{\sin \frac{3 \cdot \pi}{2}}{3} \cdot \cos \frac{3 \cdot \pi \cdot x}{2} + \\ \frac{\sin \frac{4 \cdot \pi}{2}}{4} \cdot \cos \frac{4 \cdot \pi \cdot x}{2} + \frac{\sin \frac{5 \cdot \pi}{2}}{5} \cdot \cos \frac{5 \cdot \pi \cdot x}{2} \end{array} \right). \quad (2)$$

По результатам расчёта получен график суммарной величины вынуждающей силы (рис. 2).

Если рассмотреть последовательность сложения двух, трёх, четырёх и пяти слагаемых и определить, при этом, коэффициент асимметрии, как отношение модулей пиковых значений функции в положительной и отрицательной области, то можно проследить изменение коэффициента асимметрии от числа слагаемых, что в технической интерпретации означает – от числа ступеней с направленными колебаниями, входящими в вибрационное устройство. Результаты расчёта сведены в таблице 1.

Из полученных расчётов очевидно, что коэффициент асимметрии при увеличении числа слагаемых ряда с одного до пяти практически увеличился всего

на 3% и не превышает 1,765. Таким образом, увеличение числа слагаемых рядом ряда ведёт к выравниванию моделирующих кусочно-гладких отрезков, и не влияет практически на величину коэффициента асимметрии.



Рис. 2. Изменение функции при использовании пяти первых слагаемых ряда

Табл. 1. Изменение коэффициента асимметрии при изменении числа слагаемых ряда

Число слагаемых ряда	1	2	3	4	5
Коэффициент асимметрии k_{ac}	1,712726	1,714567	1,756896	1,760068	1,764136

Для сравнения, для аналогичного коэффициента асимметрии $k_{ac} = 2,0$ и суммарной величины вынуждающей силы, действующей в направлении выполнения полезной работы, равной $F_{np} = 2,0$ кН, построим график изменения величины суммарной вынуждающей силы, основанный на методе определения коэффициентов при силах, составляющих суммарное колебание, из выражения приведенного в работе [6].

$$\frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \cdot F_{np} + \frac{a_{i-1}}{\sum_{i=1}^n a_i} \cdot F_{np} + \frac{a_{i-2}}{\sum_{i=1}^n a_i} \cdot F_{np} + \dots + \frac{a_{i-n}}{\sum_{i=1}^n a_i} \cdot F_{np} = F_{np}, \quad (3)$$

где a_i – наибольшее значение порядкового номера степени при $i = n$;

$a_{i-1}, a_{i-2}, \dots, a_{i-n}$ – убывающие значения порядкового номера степени;

$\sum_{i=1}^n a_i$ – сумма всех чисел порядковых номеров степеней, $1 + 2 + 3 + \dots + i$.

В данном случае для вибрационного устройства, состоящего из двух ступеней вибраторов с направленными колебаниями, величины составляющих суммарную вынуждающую силу имеют значения, полученные по методике [6]:

$$F_{np} = F_1 + F_2 = 1,33 + 0,67 = 2,0 \text{ кН}. \quad (4)$$

График изменения вынуждающей силы в пределах одного периода представлен на рисунке 3.

Таким образом, рекомендации [6] позволяют для любой заданной величины вынуждающей силы F_{np} получить коэффициент асимметрии $k_{ac} = 2,0$ уже при двух ступенях вибрационного устройства.

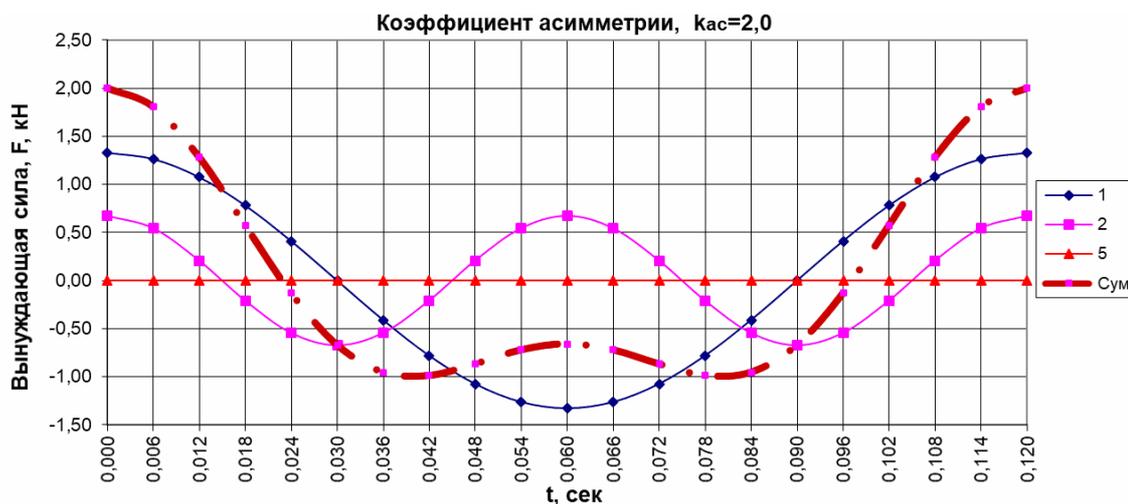


Рис. 3. Изменение суммарной величины вынуждающей силы в соответствии с рекомендациями [6]

Вывод. Использование метода разложения кусочно-гладких функций в ряд Фурье для формирования образа и исходных параметров вибрационного устройства с асимметричными колебаниями на стадии предварительного проектирования является, очевидно, недостаточно сложившейся и требует дополнительных исследований. В тоже время, метод расчёта «составляющих суммарную вынуждающую силу, действующую в направлении выполнения полезной работы» позволяет на стадии предварительного проектирования определить число ступеней вибрационного устройства, получить гарантированный коэффициент асимметрии вибрационного устройства и назначить массы дебалансов, радиусы смещения центров тяжести и угловые скорости вращения дебалансных валов каждой ступени.

Список литературы

1. Gerasimov M.D., Lubimyi N.S., Yakovlev E.A. Comparative analysis of the parameters of generators with circular and asymmetric oscillations // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, vol. 945(1), p. 012003. DOI: 10.1088/1757-899X/945/1/012003.
2. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. / Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э.Э. Лавендела, 1981. – 509 с.
3. William T. Thomson, Professor Emeritus. Theory of Vibration with Applications. Fourth Edition. Department of Mechanical and Environmental Engineering University of California Santa Barbara, California // SPRINGER-SCIENCE+BUSINESS MEDIA, B.V. Fourth edition. 1993. P. 558.
4. Tse Francis S., Morse Ivan E., Hinkle Rolland T. Mechanical Vibrations. Theory and Applications. Second Edition. Copyright 1978, 1983 by and Bacon, Inc. 470 Atlantic Avenue, Boston, Massachusetts 02210.
5. Интегральные преобразования: учеб. пособие / Л.Д. Романова, Т.А. Шаркунова, Т.В. Елисеева. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2015. – 80 с.
6. Патент № 2740282 РФ. Способ генерирования направленных инерционных асимметричных колебаний рабочего оборудования вибрационных машин / М.Д. Герасимов. – Заявка №2020121504 от 05.08.2020; опубл. 12.01.2021, Бюл. №2.

Сведения об авторах:

Герасимов Михаил Дмитриевич – к.т.н., доцент;
Рязанцев Владислав Геннадьевич – аспирант.