

УДК 62-1/9

МЕТОД ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АСИММЕТРИЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ ВИБРАЦИОННЫХ МАШИН ГИБРИДНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

А. А. ТИХОНОВ, А. Е. КИСЛИЦЫН, А. В. КАРАЧЕВЦЕВА

Научный руководитель М. Д. ГЕРАСИМОВ, канд. техн. наук, доц.

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

Вибрационные машины обеспечивают выполнение различных работ по назначению: уплотнение, формование, транспортирование, механическая обработка и др. В настоящее время совершенствование вибрационных машин ведётся в направлении получения рабочим органом асимметричных колебаний, у которых величина вынуждающей силы в направлении выполнения полезной работы существенно превышает величину вынуждающей силы, действующей в направлении выполнения холостого хода. Так, при работе гибридных машин, сочетающих аддитивные и субтрактивные технологии, в процессе механической обработки изделий, полученных путем наплавки, возникают вибрации, которые, в свою очередь, снижают точность обработки поверхностей изделия. Наиболее эффективным направлением создания вибрационных машин с асимметричными колебаниями для гибридных производств является получение асимметричной величины суммарной вынуждающей силы с коэффициентом асимметрии $k_{as} \geq 2,0$. Суммарная величина вынуждающей силы представляет собой сумму двух и более самостоятельных и синхронизированных колебаний:

$$F_{sum3} = m_1 r_1 \omega_1^2 \cos(\omega_1 t) + m_2 r_2 \omega_2^2 \cos(\omega_2 t) + m_3 r_3 \omega_3^2 \cos(\omega_3 t) \quad (1)$$

или

$$F_{sum3} = \lambda_1 \cos(\omega_1 t) + \lambda_2 \cos(\omega_2 t) + \lambda_3 \cos(\omega_3 t),$$

где m_i, r_i, ω_i – масса, эксцентриситет и угловая скорость дебалансов первой, второй и третьей ступени вибрационного устройства соответственно; λ_i – коэффициенты, определяющие соотношение каждого слагаемого, входящего в (1).

Коэффициенты λ_i можно получить при разложении кусочно-гладкой функции в ряд Фурье. Например, для кусочно-гладкой функции

$$f(t) = \begin{cases} 2, & \text{если } 0 \leq t < \frac{3\pi}{4}; \\ -1, & \text{если } \frac{3\pi}{4} \leq t < \frac{5\pi}{4}; \\ 2, & \text{если } \frac{5\pi}{4} \leq t < 2\pi. \end{cases} \quad (2)$$

С помощью программы ИИ Qwen3-235B-A22B-2507 получаем ряд Фурье

$$f(t) = 1,250 + 1,350 \cos t - 0,955 \cos 2t + 0,450 \cos 3t. \quad (3)$$

Для получения коэффициентов λ_i свободный член и коэффициент при первом слагаемом можно вынести за скобки и опустить:

$$f(t) = [\cos t - 0,71 \cos 2t + 0,33 \cos 3t]. \quad (4)$$

Для дальнейшего анализа целесообразно (4) перевести в единичную функцию, т. е. $f(t) = 1,0$. Тогда амплитудные значения коэффициентов в (4) примут вид

$$f(t) = 1,613\cos t - 1,145\cos 2t + 0,532\cos 3t. \quad (5)$$

График функции (5) представлен на рис. 1. Очевидно, что при проектировании вибрационного устройства из трёх ступеней и при получении коэффициентов при тригонометрических слагаемых на основе разложения в ряд Фурье кусочно-гладкой функции можно получить коэффициент асимметрии для, например, виброплощадки: $k_{as} = 2,88$. При этом наибольшая сила действует вниз.

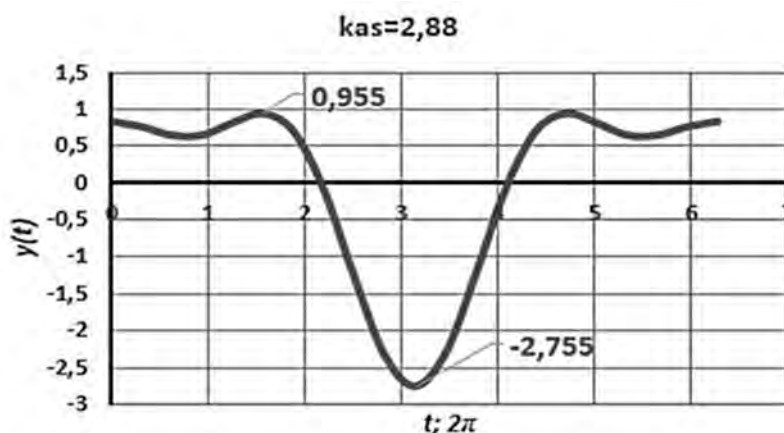


Рис. 1. График единичной функции ряда Фурье (3) для кусочно-гладкой функции (2)

Использование вибрационных устройств с асимметричными колебаниями позволяет существенно расширить область применения номенклатурных моделей на многие технологические процессы, в частности гибридные производственные процессы. Такое направление исследований позволяет повысить конкурентоспособность отечественных вибрационных машин и внедрять их в гибридных производствах.

Работа выполнена в рамках государственного задания FZWN-2024-0006 по теме «Разработка научных подходов и методов создания многономенклатурных гибридных производств на основе аддитивных технологий с использованием цифровых двойников».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Блехман, И. И.** Вибрационная механика / И. И. Блехман. – М.: Физматлит, 1994. – 400 с.
2. Патент RU 2806379C1. Полигармоническое вибрационное устройство : № 2023106849 : заявлено 22.03.2023: опубл. 31.10.2023 / Герасимов М. Д., Анциферов С. И., Тихонов А. А., Рязанцев В. Г., Любимый Н. С.; заявитель Белгород. гос. технол. ун-т им. В. Г. Шухова.
3. **Герасимов, М. Д.** Исследование возможности применения адаптивной системы управления для воспроизведения асимметричных колебаний на вибрационной машине направленного действия / М. Д. Герасимов, Ю. С. Зайцева // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2024. – № 1. – С. 115–121.
4. Анализ и перспективы направлений совершенствования малогабаритных одновальных вибрационных катков / М. Д. Герасимов, Н. С. Любимый, С. С. Латышев [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2025. – № 5. – С. 92–108.