

УДК 677.054.89:004.94

**ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАР  
БАТАННОГО МЕХАНИЗМА ТКАЦКОГО СТАНКА  
МЕТОДОМ НЕПРЕРЫВНОГО ВЕЙВЛЕТ - ПРЕОБРАЗОВАНИЯ**

*В.В. СИГАЧЕВА, А.Е. СТРЕШНЕВ*

**(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)**

Механизмы ткацких станков испытывают большие динамические нагрузки, величина которых пропорциональна ускорению звеньев механизмов. Поэтому техническое состояние (ТС) механизмов целесообразно исследовать при функциональном диагностировании, используя измерительную аппаратуру, оснащенную датчиками ускорений.

При вибрационной диагностике механизмов ткацких станков, информация извлекается из массивов ускорений. Масси-

вы данных получают с помощью микропроцессорного устройства, которое производит поочередный опрос датчиков ускорений, расположенных на рабочем или других звеньях исследуемых механизмов. Массивы содержат мгновенные значения ускорений отдельных механизмов, как правило, за несколько оборотов главного вала. Затем данные в виде файлов через связующий интерфейс передаются из микропроцессорного устройства в ЭВМ. Дальнейшая обработка данных направлена

на исследование полученного дискретного информационного массива ускорений с целью выделения отдельных диагностических показателей, используемых для диагностирования и прогнозирования ТС отдельных механизмов.

Строго говоря, колебательный процесс носит квазипериодический характер. Он содержит бесконечное количество периодических составляющих, но в реальном процессе наличие отдельных периодических составляющих, характеризующих дефекты механизмов, ограничено. Колебательный процесс можно разделить на низкочастотную и высокочастотные компоненты [1], [4]. Низкочастотная компонента виброускорения механизма близка к его кинематическому ускорению. Высокочастотные колебания с амплитудным уровнем, сравнимым с низкочастотной компонентой, возбуждаются ударами в зазорах и другими дефектами.

На основе спектрального анализа с использованием рядов Фурье или кратномасштабного вейвлет-анализа определяются информативные, с позиции определения дефектов, полосы частот высокочастотных компонент колебательного процесса. За информативные полосы частот принимаются те, которые по уровню сопоставимы с полосой частот для низкочастотной компоненты колебательного процесса.

Дополнительная информация об износе механизмов может быть также получена путем амплитудно-частотно-временного представления сигнала. При таком представлении информационного сигнала появляется возможность определить не только наличие сверхнормативного зазора кинематической пары, но и место его расположения на профиле кулака, то есть появляется возможность связать износ кинематической пары с фазовым углом поворота главного вала. Одним из эффективных методов частотно-временного исследования динамического ускорения является вейвлет-анализ [2], [3].

Непрерывное вейвлет-преобразование строится на основе единственной базисной функции  $\psi(t)$ , принадлежащей пространству  $L^2(\mathbb{R})$ , то есть всей числовой оси. Для

функции  $\psi(t)$  должны выполняться следующие необходимые условия:  $\psi(t)$  непрерывна,  $\psi(t)$  интегрируема на всей прямой и  $\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0$ . Как следствие, вейвлет должен быть знакопеременной функцией [2].

Математически непрерывное вейвлет-преобразование функции  $x(t)$  представляется в виде следующего выражения:

$$Wx(b, a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (1)$$

где  $\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{b-t}{a}\right)$  – система базисных функций, которая получается из фиксированной функции  $\psi(t)$  всевозможными сдвигами и растяжениями (параметр  $a$  – задает ширину анализирующего вейвлета, параметр  $b$  – его положение). Для заданных  $a$  и  $b$  функция  $\psi(t)$  является вейвлетом. Вейвлеты, обозначенные как  $\psi(t)$ , называют материнским вейвлетом, поскольку они порождают целый ряд вейвлетов определенного рода. Вейвлеты, будучи функциями времени, имеют свое частотное представление или Фурье-образ  $\bar{\psi}(t)$ . Налагаемое на функцию  $\psi(t)$  условие (нулевое значение интеграла) означает, что  $\bar{\psi}(0) = 0$ . В частотной области спектр многих вейвлетов напоминает всплеск, пик которого приходится на частоту основной гармоники. С уменьшением масштабирующего параметра, одновременно увеличивается амплитуда вейвлет-окна. Указанное свойство определяет высокую чувствительность вейвлет-анализа к кратковременным высокочастотным флуктуациям.

В случае анализа ускорений батанного механизма мы имеем дело с сигналами, заданными не аналитическими функциями, а дискретным набором данных, определенном на конечном временном интервале. В этом случае принимается, что при  $t_k < t < t_{k+1}$ ,  $x(t) = s_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, N$  и формула (1) для коэффициентов вейвлет-преобразования модифицируется следующим образом:

$$W_x(b, a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \sum_{k=1}^N s_k \psi\left(\frac{k-b}{a}\right). \quad (2)$$

Выбрав вид материнского вейвлета, изменяя масштабирующий параметр, можно добиться того, чтобы Фурье-образ  $\bar{\psi}(t)$  соответствовал спектрам низкочастотной или высокочастотной компоненты виброускорения батанного механизма. После того, как будет установлен масштабирующий параметр для анализа конкретной составляющей исходного сигнала, с помощью изменения параметра  $b$  производится перемещение анализирующего вейвлета по временной оси существования сигнала. Результатом рассмотренного анализа будет набор вейвлет-коэффициентов, который указывает на время возникновения конкретной информационной составляющей сигнала и ее уровень, характеризующий изношенность исследуемого узла диагностируемого механизма.

Покажем возможности вейвлет-анализа применительно к диагностированию ТС батанного механизма ткацкого станка. Полосы частот высокочастотных компонент ускорения, характеризующие дефекты кинематических пар различных узлов батанного механизма, представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Узлы	Частотный диапазон, Гц	Масштабирующий коэффициент вейвлета Морле
Втулки	30-79	22
Пара кулак – ролик	112-141	9,3
Подшипники	145-168	7,6
Поверхность кулака	171-198	6,4

Согласно имеющимся данным выбираем вид анализирующего вейвлета и параметры масштабирования, при которых будет выполняться анализ информационного сигнала. Были проанализированы различные типы материнских вейвлетов и выбран вейвлет Морле (рис.1), который описывается следующим выражением:

$$\psi(t) = e^{-\frac{x^2}{2}} \cos(10x). \quad (3)$$

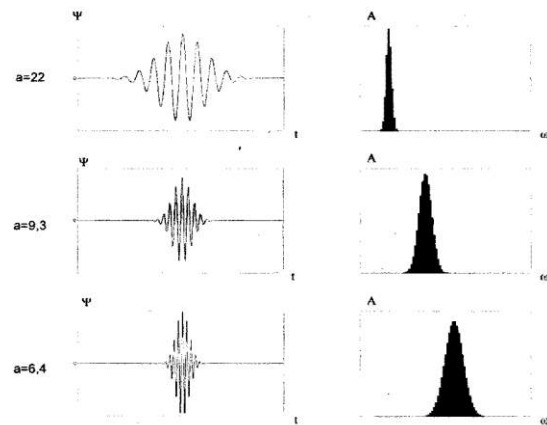


Рис.1

В результате исследования частотных характеристик вейвлет-функций определены коэффициенты масштабирования  $a$ , при которых Фурье-образ анализирующего вейвлета наилучшим образом соответствует значениям полос частот, приведенным в табл. 1, где также представлены величины масштабирующих коэффициентов. На рис. 1 представлены анализирующие вейвлеты и их Фурье-образы, образованные от вейвлета Морле при различных значениях коэффициента масштабирования (для Фурье-образа частота первой гармоники  $\omega_0=3,3$  Гц). Для вейвлета Морле при коэффициенте масштабирования  $a = 22$ , средняя частота его Фурье-образа попадает в середину диапазона частот высокочастотной компоненты диагностического сигнала, которая определяет износ кинематической пары: втулки – подбатанный вал. Подобным образом были определены масштабирующие коэффициенты, при которых вейвлет-функция может быть использована для анализа износа кинематической пары кулак – ролик ( $a = 9,3$ ), поверхности кулака ( $a = 6,4$ ) для анализируемых узлов в табл.1.

В результате вейвлет-анализа ускорения получаем набор вейвлет-коэффициентов  $W$ , с помощью которого можно оценивать уровень и момент возникновения сигналов заданного частотного диапазона.

## ВЫВОДЫ

На рис. 2 и 3 представлены соответственно вейвлет-коэффициенты, характеризующие износ кинематических пар узлов на фазовом угле поворота главного вала батанного механизма (позиция а – станок после ремонта, б – перед ремонтом). На рис. 2-а, б показаны  $W$  для кинематической пары кулак-ролик; на рис. 3-а, б – подшипников. Анализ процесса изменения вейвлет-коэффициентов показывает, что перед ремонтом у механизма одной батанной коробки значительно изношены кулак и подшипники, наибольший износ характерен для участка прибора точной нити батаном. Замена кулака и подшипников при ремонте привели к уменьшению вейвлет-коэффициентов на участке прибора примерно в 4 раза.

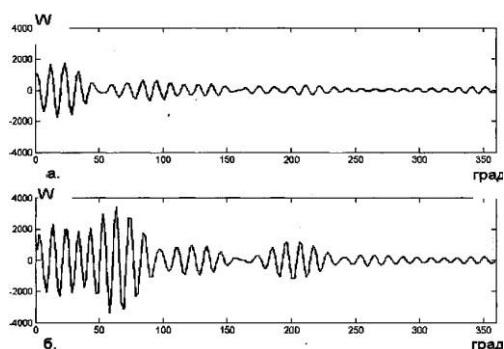


Рис.2

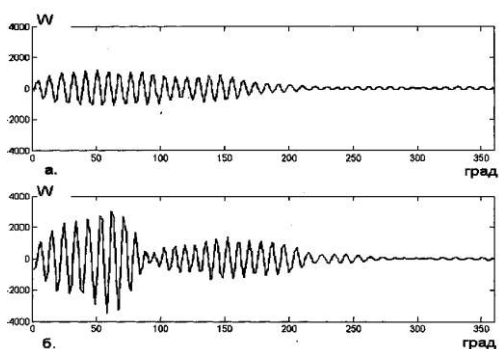


Рис.3

1. Вейвлет-преобразование дает амплитудно-частотно-временное представление результатов анализа виброускорения батанного механизма и позволяет адекватно определить дефекты при идентификации.

2. Выбор анализирующего вейвлета является сложной задачей. Тип информационного массива определяет выбор анализирующего вейвлета, а для каждой характерной полосы частот необходимо определить свой коэффициент масштабирования.

3. Метод показателен для амплитудно-частотно-временных исследований колебательных процессов в программах математического моделирования (например, Matlab), но связан с трудностями его программной реализации в технических средствах диагностирования производственного назначения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Технические средства и методы виброакустической диагностики оборудования в текстильной и легкой промышленности / В.В.Сигачева, В.А.Климов, С.И. Лукичев и др. – М.: Легпромбытиздат, 1993.

2. Дремин И.М., Иванов О.В., Нечитайло В.А. Вейвлеты и их использование // Успехи физических наук. – Том 171, №5. . 465..501.

3. Дьяконов В. Вейвлеты: от теории к практике. – М.: Солон-Р, 2002.

4. Сигачева В.В. и др. Диагностическая система оценки работоспособности ткацких станков.// Изв. вузов Технология текстильной промышленности. – 1999, № 2. С. 93...97.

Рекомендована кафедрой автоматизации производственных процессов. Поступила 03.02.08.