# ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВЕЙВЛЕТ-МОДЕЛЕЙ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники*
*г. Минск, Республика Беларусь*

*Маг. БГУИР*
*Лобунов В. В.*

*Руководитель:*
*к.т.н., доц. Давыдов И. Г.*

За прошедшие несколько десятков лет значительно вырос и продолжает неуклонно расти уровень машиностроительной промышленности. Как следствие, эта тенденция влечет за собой повышение требований, предъявляемых к оценке технического состояния промышленного оборудования. Поэтому, одной из важнейших задач, возникающей при решении данной проблемы, является разработка новых эффективных методов вибродиагностического анализа изделий машиностроения.

В основу большинства современных методов вибрационной диагностики технических систем и оборудования легли научные труды, возникшие еще в шестидесятые годы прошлого столетия. Однако только сейчас стало возможным в полной мере и с максимальной эффективностью применить подобные теории на практике.

Данная возможность возникла благодаря стремительному развитию микроэлектронной промышленности и появлению микропроцессоров, обладающих высоким быстродействием. Во многом повышению достоверности получения диагностических данных способствовала разработка аналого-цифровых преобразователей, имеющих высокую разрешающую способность.

Одним из самых распространенных изделий машиностроения является подшипник качения, используемый как несущий элемент во многих механических структурах существующего на данный момент промышленного оборудования. Первостепенной задачей является обнаружение различного рода дефектов именно этого элемента, так как зачастую подшипники качения находятся под большой нагрузкой при высокой скорости вращения, что может привести к незамедлительному развитию дефектов.

Немаловажным фактором является обнаружение дефекта на начальных стадиях его развития, так как это позволяет предугадать дальнейшее развитие ситуации и избежать неожиданного выхода из строя всего оборудования, что может привести к возникновению аварийной ситуации и дорогостоящему ремонту.

При проведении вибрационной диагностики зачастую приходится анализировать как стационарные, так и нестационарные вибрации. В случае исследования стационарной вибрации с постоянной во времени мощностью случайных и периодических компонент, используются спектральные методы анализа сигнала.

Здесь применяются интегральные и дискретные преобразования Фурье. Для интегрального преобразования в качестве базиса применяется гармоническая функция вида $\cos(k\omega_0 t)$, а для дискретного - на интервале $T$ берется произведение гармонической функции на функцию окна вида $\varphi(t,T)$. Результаты для стационарной вибрации, полученные после преобразования Фурье, совпадают для интервалов длительностью Т сигнала, взятых в разное время $t$ в пределах статистической ошибки.

Когда анализируется нестационарная вибрация, используется вейвлет-анализ, который представляет собой не что иное, как результат фильтрации сигнала параллельными перекрещивающимися фильтрами. Результаты спектрального анализа конкретной части сигнала должны совпадать с моментом времени, взятом в центре анализируемой части сигнала. Выполнение самого анализа должно проводиться с множеством временных итераций, каждая из которых имеет длину $\Delta t$.

Как следствие возникает последовательность значений спектральных составляющих $S^{*}_{t_i T}(k\omega_0)$, каждое из которых представляет собой результат свертки анализируемого сигнала вибрации $x(t)$ с функцией, имеющей вид:

$$\psi_t(t,T,k\omega_0) = \varphi(t,T)\cos(k\omega_0 t + \varphi_k),$$

где $\varphi(t,T)$ - функция окна.

Тогда получаем выражения для $S^{*}_{t_i T}(k\omega_0)$ вида:

$$S^{*}_{t_i T}(k\omega_0) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\,\psi_t(t-\tau)\,d\tau$$

Последовательность значений спектральных составляющих $S^{*}_{t_i T}(k\omega_0)$ с разными значениями $t$ представляет собой отсчеты сигнала $x(t)$, который прошел через фильтр, имеющий импульсную характеристику с функцией вида $\psi(\tau)$. Функция $\psi(\tau)$ называется вейвлетом, если она быстро спадает с ростом $|\tau|$ и стремится к нулю при $|\tau| \to \infty$, а ее среднее значение $\bar{\psi}(\tau) = 0$.

При вейвлет - разложении анализируемого сигнала вибрации $x(t)$ получаем двумерную функцию, которая зависит от конкретного момента времени $a$ и масштаба $b$, несущего информацию о частоте. Данная функция имеет вид:

$$W_x(a,b)=\frac{1}{\sqrt{|a|}}\int_{-\infty}^{\infty}x(t)\overline{\psi}^{*}\left(\frac{t-b}{a}\right)dt,$$

где $\overline{\psi}^{*}$ - комплексно-сопряженная функция $\psi(\tau)$, а $\frac{1}{\sqrt{|a|}}$ - нормирующий коэффициент.

Для обратного восстановления сигнала, необходимо выполнить преобразование, имеющее вид:

$$x(t)=\frac{1}{c_{\psi}}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{da}{a^2}\int_{-\infty}^{\infty}W_x(b,a)\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)db,$$

где $c_{\psi}$ - это нормирующий коэффициент, выражение которого имеет вид:

$$c_{\psi}=\int_{-\infty}^{\infty}\frac{|\psi(\omega)|^2}{|\omega|}d\omega<\infty$$

В данном выражении для нормирующего коэффициента, функция $\psi(\omega)$ представляет собой частотное представление вейвлета.

Существует довольно большое количество функций вида $\psi(\tau)$, которые могут быть использованы в качестве вейвлета путем их масштабирования и разложения по временной оси. Однако на практике используют только самые простые модели. На рисунке 1 представлен вейвлет Марле, который довольно часто используется в данном виде анализа вибраций для оценки технического состояния промышленного оборудования.

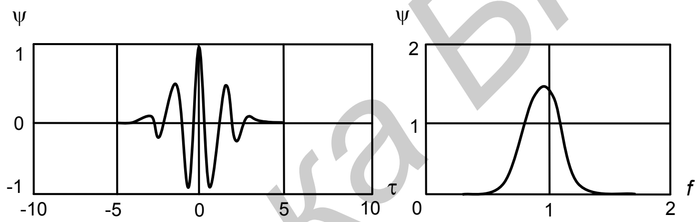


Рис 1 – Графики временного и спектрального представления вейвлета Марле.

Вещественная и мнимая части данного вейвлета являются гармоническими сигналами, которые умножаются на временное окно, имеющее форму Гауссовской кривой. При вейвлет-разложении вещественного сигнала, также получаем комплексные выражения, модули которых представляют собой огибающую сигнала, полученную на выходе полосовых фильтров, перекрещивающихся по частоте.

Вейвлет-преобразование отличается от многократно повторяемого преобразования Фурье тем, что есть возможность масштабирования самих вейвлетов, которое представляет собой пропорциональное увеличение длительности функции $\psi(\tau)$ с одновременным обратно пропорциональным уменьшением частоты.

В заключении стоит отметить, что, при использовании вейвлет-анализа для диагностики подвижных частей промышленного оборудования, может теряться скорость принятия решения. Это является важным преимуществом при методе анализа формы сигнала. Однако рассматриваемый метод обладает высокой эффективностью и достоверностью получаемых результатов. На данном этапе развития вибрационный диагностики его применение является ключевым в решении проблем качественной оценки технического состояния промышленного оборудования.

Список использованных источников:

1. Барков, А.В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации: учебное пособие / А.В. Барков, Н.А. Баркова. – СПб.: СПбГМТУ, 2004. – 156 с.
2. Русов, В.А. Спектральная вибродиагностика / В.А. Русов – Перьм: Вибро-Центр, 1996.– 217 с.
3. Root cause failure analysis: Databook/R. Keith Mobley. Woburn, MA, 1999.