

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,  
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

УДК 378.1:159.9

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОГО ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ  
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА**

© 2014 г. И.И. Лебедев\*, В.И. Лебедев\*\*, А.В. Чернов\*\*\*

*\* Ростоватомтехэнерго, г. Волгодонск, Ростовская обл.*

*\*\* Ростовская АЭС, г. Волгодонск, Ростовская обл.*

*\*\*\* Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл.*

В статье рассматривается применение спектрального и непрерывного вейвлет-преобразования вибрационных сигналов с низким уровнем стационарности, полученных при виброобследовании центробежного насосного агрегата спецбытового энергоблока №4 Белоярской АЭС.

*Ключевые слова:* вибродиагностика, спектральный анализ, непрерывное вейвлет преобразование, дефект монтажа.

Поступила в редакцию 30.05.2014 г.

В настоящее время значительное количество работ в области вибродиагностики, основаны на использовании спектрального анализа диагностических сигналов. Определены диагностические признаки дефектов для тех или иных элементов машины, рассчитаны их характерные частоты, составлены диагностические таблицы.

Но наряду с неоспоримыми достоинствами преобразование Фурье обладает и определенными недостатками: а) исходный сигнал заменяется на периодический; б) при фурье-преобразовании изменяющихся параметров процесса со временем (нестационарных процессов) для всего исследуемого сигнала получаются усредненные коэффициенты. При этом теряется информация динамики развития процесса, и как следствие, теряется информация сигнала, отличающегося от стационарного. Поэтому методы, основанные на спектральном анализе, не позволяют на сегодняшний момент производить всесторонний анализ вибросигнала, что приводит к общим характерным погрешностям при проведении вибродиагностических обследований.

Для того, чтобы однозначно идентифицировать какой-либо дефект, необходимо применение дополнительных операций по обработке вибросигнала, как, например, анализ временной реализации, или проведение дополнительных замеров при различных режимах работы исследуемого агрегата, что не всегда является приемлемым в условиях производства.

При проведении пуско-наладочных работ на 4 энергоблоке Белоярской АЭС выполнено виброобследование насосного агрегата системы сбора «грязных» душевых вод. Результаты виброобследования приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** – Результаты первичного виброобследования, мм/с

Направление измерений	Место измерения			
	Электродвигатель		Насос	
	Подшипник 1	Подшипник 2	Подшипник 3	Подшипник 4
<b><i>B</i></b>	1,6	1,9	1,8	1,5
<b><i>П</i></b>	4,1	4,6	2,3	1,6
<b><i>О</i></b>	1,7	1,8	1,5	1,3

Для анализа работы агрегата снят спектр виброскорости, который представлен на рисунке 1.

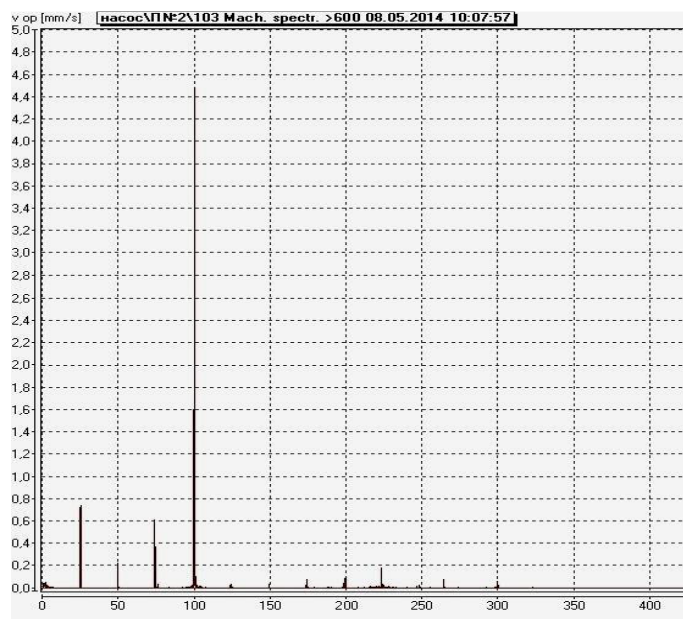


Рис. 1. – Спектр виброскорости

При проведении спектрального анализа наиболее вероятным дефектом будет являться асимметрия напряжения питания, диагностическим признаком которого является 100Гц составляющая спектра. Источником вибрации в этом случае является  $2f_n$  – из-за появления поля с реверсивным вращением, где  $f_n$  – частота напряжения сети и равна 50Гц.

Наличие гармоник кратных частоте вращения говорит о биении (вала, ротора, муфты и т.д.).

Разница уровня вибрации в двух направлениях в 2 и более раза говорит о недостаточной жесткости опорных элементов конструкции насосного агрегата.

Проведенными исследованиями особенностей монтажа электротехнического оборудования атомных электрических станций, установлено: нарушение геометрии опорных поверхностей электропривода насосного агрегата приводит к появлению вибрационных процессов с недостаточной степенью стационарности, что делает проблематичным использование методов вибро-акустической диагностики, основанной на использовании спектрального анализа вибро-акустического сигнала. Указанная проблема может быть решена за счет использования непрерывного вейвлет преобразования вибро-акустических сигналов.

Как видно на рисунке 2 в области больших масштабов, соответствующей низким частотам, энергия сигнала периодически увеличивается, а затем уменьшается. Периодичность видна на протяжении всего участка сигнала.

Данное явление вызвано неравномерным прилеганием лап электродвигателя к опорной поверхности, причиной которого является неправильная центровка валов электродвигателя и насоса, а именно появление «мягкой лапы» электродвигателя.

При затяжке «мягкой лапы» создаются дополнительные напряжения на станине и корпусе электродвигателя, вследствие чего собственные частоты электродвигателя смещаются в область частот кратных частоте вращения. При появлении такого резонанса уровень вибрации увеличивается в 2-3 раза. Для снижения общего уровня вибрации агрегата достаточно найти «мягкую лапу» и отпустить её крепление.

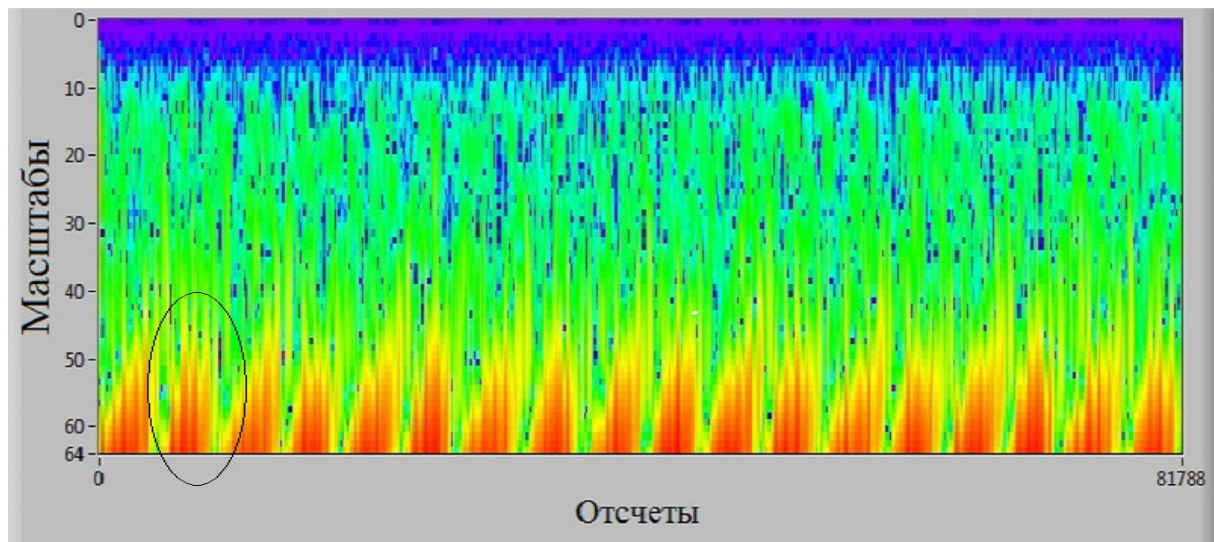


Рис. 2. – Непрерывное вейвлет-преобразование сигнала дефектного агрегата

Результаты, полученные после ослабления крепления, приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Результаты повторного виброобследования, мм/с.

Направление измерений	Место измерения			
	Электродвигатель		Насос	
	Подшипник 1	Подшипник 2	Подшипник 3	Подшипник 4
<b><i>В</i></b>	0,7	0,9	0,9	0,7
<b><i>П</i></b>	0,6	1,0	0,9	0,8
<b><i>О</i></b>	0,5	0,5	0,4	0,3

На рисунке 3 представлена скейлограмма непрерывного вейвлет-преобразования сигнала агрегата после устранения дефекта.

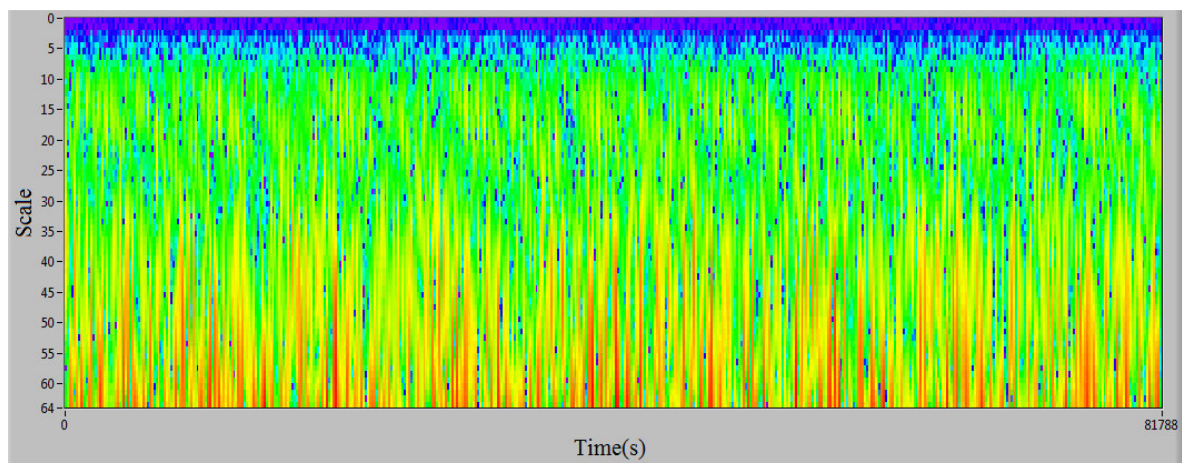


Рис. 3. – Непрерывное вейвлет-преобразование сигнала агрегата после устранения дефекта

Учитывая, что при снятии спектра сигнал усредняется, как правило, 3-4 раза, увидеть изменение энергии сигнала во времени не представляется возможным.

## ВЫВОД

Использование непрерывного вейвлет-преобразования при обработке вибрационного сигнала позволяет создать частотно-временное представление при низком уровне стационарности, что может быть использовано при оценке качества монтажа оборудования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барков, А.В. и др. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации [Текст] / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев: учебн. пособие. – СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2000. – 159 с.
2. Солодовников, Д.С. Новые подходы к первичной обработке вибросигналов роторных агрегатов [Текст] / Д.С. Солодовников // Мировое сообщество: проблемы и пути решения: Сб. науч. ст. – №6. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2000.
3. Яковлев, А.Н. Введение в вейвлет преобразования [Текст] / А.Н. Яковлев: учебное пособие. – СибНГТУ–НГТУ, 2003. – С. 104.
4. Синельщиков, П.В. и др. Особенности использования методов анализа частотных составляющих токового сигнала [Текст] / П.В. Синельщиков, А.В. Чернов // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – №1. – С. 109–112.

## Continuous Wavelet-Transform Use for Vibration Signal Processing

I.I. Lebedev\*, V.I. Lebedev\*\*, A.V. Chernov\*\*\*

\* Rostovatomechenergo, Volgodonsk-28, Rostov region, Russia  
347388, e-mail: ilebedev161@gmail.com

\*\* Rostov Nuclear Power Plant, Volgodonsk-28, Rostov region, Russia 347388,  
e-mail: vi\_lebedev\_1985@mail.ru

\*\*\* Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of national Research Nuclear  
University «MEPhI», 73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360  
e-mail: viti@mephe.ru, avchernov@mephe.ru

**Abstract** – The article discusses the use of spectral analysis and continuous wavelet transform vibration signals with low steady-state optioned by the centrifugal pump unit vibration inspection unit №4 Beloyarsk Nuclear Power Plant.

**Keywords:** vibrodiagnostics, spectral analysis, continuous wavelet transform, assembly defect.

## REFERENCES

- [1] Barkov A.V., Barkova N.A., Azovcev A.Ju. Monitoring i diagnostika rotornyh mashin po vibracii [Monitoring and diagnostics of rotor cars on vibration] : uchebn. posobie[manual]. Sankt-Peterburg. Pub. Izd. centr SPbGMTU [Publishing center of St. Petersburg State Marine Technical University], 2000. 159 p. (in Russian)
- [2] Solodovnikov D.S. Novye podhody k pervichnoj obrabotke vibrosignalov rotornyh agregatov [New approaches to preprocessing of rotor unit vibrosignals]. Mirovye soobshhestvo: problemy i puti reshenija: Sb. nauch. st [World community: problems and solutions: The collection of scientific articles]. №6. Ufa: Pub. Izd-vo UGNTU[Ufa State Petroleum Technological University publishing house], 2000. (in Russian)
- [3] Jakovlev A.N. Vvedenie v vejvlet preobrazovanija [Introduction in wavelet transformation] / A.N. Jakovlev: uchebnoe posobie [manual]. Novosibirsk. Pub. SibNGTU–NGTU [Novosibirsk State Technical University], 2003, ISBN 5-7782-0405-1, 104 p. (in Russian)
- [4] Sinelshnikov P.V., Chernov A.V. Osobennosti ispolzovanija metodov analiza chastotnyh sostavljajushhih tokovogo signala [Features of use of frequency component analysis methods of a current signal]. Globalnaja jadernaja bezopasnost [Global Nuclear Safety]. 2012, №1, ISSN 2305-414X, pp. 109–112. (in Russian)