

УДК 621.941.26

В.Н. Тихенко<sup>1</sup>, В.И. Старцев<sup>1</sup>, А.А. Анисимов<sup>1</sup>, С.В. Пчелинский<sup>2</sup><sup>1</sup> Одеський національний політехнічний університет, Одеса<sup>2</sup> Региональное отделение ПАО «Укрзалізниця», Одеса

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ СТАНКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОЛЕСНЫХ ПАР

Станки для обработки колесных пар работают в тяжелых условиях нагружения силами резания, что, в первую очередь, сказывается на работоспособности подшипников качения шпиндельных узлов. Рассмотрены методы вибродиагностики таких станков, которые позволяют определить дефекты без разборки узлов, а также снизить стоимость обслуживания и ремонта. Результаты исследований, проведенных с использованием разработанного виброизмерительного оборудования, выявили неисправности шпиндельных подшипников привода станка, что было подтверждено при проведении ремонтных работ.

**Ключевые слова:** вибродиагностика, спектр, подшипник качения, колесообрабатывающий станок.

### Введение

**Постановка проблемы.** Для обеспечения безопасной эксплуатации железнодорожного транспорта колесные пары подвижного состава должны периодически обрабатываться на станках с целью восстановления первоначального профиля колес [1]. Для этого используют колесообрабатывающие станки различных типов, которые работают при больших нагрузках от сил резания, что приводит к изнашиванию и отказам узлов. Большинство неисправностей станков выражается в повышении вибрации, поэтому анализ вибросигнала представляет собой хорошее средство для их диагностики. Несмотря на общность методов вибродиагностики, каждый вид промышленного оборудования требует учета его специфических особенностей при эксплуатации. При виброакустическом диагностировании станков следует учитывать, что источником колебаний являются не только их механические и гидравлические системы, а также и процесс резания [2].

Результат оценки состояния узлов зависит как от алгоритма диагностирования, так и от применяемых средств измерения и обработки вибрационных сигналов. Серийные системы вибродиагностики в ряде случаев сложно или невозможно адаптировать к производственным условиям, а современная экономическая ситуация не позволяет приобретение дорогостоящих систем для многочисленных ремонтных депо. Поэтому продолжают развиваться разработки мобильных систем вибродиагностики, которые при небольшой стоимости позволяют адекватно оценить техническое состояние станков [3].

### Изложение основного материала

Для вибродиагностики колесообрабатывающих станков использовалось оборудование, разработанное в Одесском национальном политехническом универ-

ситете, которое позволяет оперативно производить измерение уровня вибрации, запись сигнала, а также обработку сигнала [4]. Оно адаптировано к условиям производства, имеет невысокую стоимость.

Особенностью конструкции колесообрабатывающих станков является наличие двух одинаковых приводов главного движения и, соответственно, двух шпиндельных узлов. Как показали результаты измерений, повреждения подшипников и зубчатых передач создают повторяющиеся сигналы меньшей амплитуды и на более высоких частотах, чем сигналы от дефектов на частоте вращения и нескольких последующих её гармониках, причем подшипники качения шпинделей являются основной причиной неисправностей. **Целью исследования** являлась прежде всего оценка дефектов подшипников. Наличие дефекта в подшипнике качения выявляется несколькими способами: он может быть диагностирован «на слух», по форме вибрационного сигнала, по спектру, по среднеквадратичному значению (СКЗ) сигнала, по спектру огибающей вибрационного сигнала, с использованием «пик-фактора», «экссесса» и др. Для подшипника с достаточно развитым дефектом зарегистрированы наиболее характерные и важные для диагностики составляющие сигнала вибрации – фоновая и импульсная (рис. 1).

В моменты прохождения через «несущую», нагруженную зону подшипника качения, дефектного элемента, или элементов, на вибросигнале появляется четко выраженный амплитудный пик, некий энергетический импульс. Параметры импульса определяются видом, локализацией и степенью развития дефекта. Каждый такой ударный импульс обладает четырьмя основными диагностическими параметрами. Это максимальная амплитуда импульса, частота свободных (заполняющих) колебаний, скорость затухания амплитуды этих колебаний и частота повторения импульсов. Если диагностику состоя-

ния проводить по параметрам временных вибрационных сигналов, то основное внимание следует уделить двум. Во-первых, это количественное значение общего уровня фона вибрации (измеренное лучше в размерности СКЗ), а во-вторых, это соотношение между уровнями фона вибрации и амплитудами пиковых значений в вибрационном сигнале.

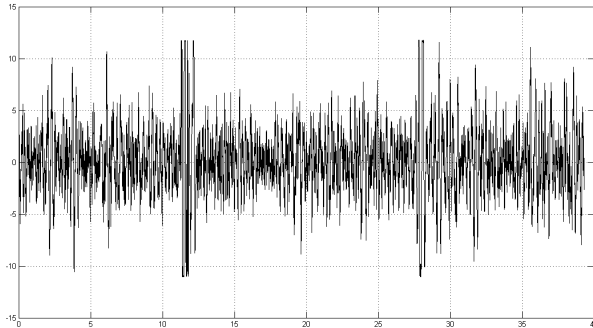


Рис. 1. Форма вибрационного сигнала подшипника с дефектом

Можно выделить пять этапов, характеризующих изменение технического состояния подшипников качения. На первом этапе, общее техническое состояние подшипника будем считать идеальным. Этот этап можно считать зоной первичного возникновения дефекта. На этой стадии пики вибрации превышают уровень фона незначительно, а сам «фоновый уровень» вибрации, в данном случае это СКЗ виброскорости, значительно меньше нормируемых значений тревожного и аварийного уровней, принятых для данного класса оборудования.

На втором этапе в подшипнике появляется и начинает развиваться какой-либо дефект, который сопровождается ударными вибрационными импульсами, амплитуда которых быстро растет по величине. Уровень фона вибрации по своей величине при этом почти остается неизменным, так как дефект носит локальный характер и на общем состоянии подшипника пока не сказывается.

На третьем этапе ударные импульсы в подшипнике достигают по своей энергии практически максимального значения. Дальше амплитуда импульсов уже начинает повышаться. На данной стадии процесс саморазвития дефекта начинает идти более быстро. Одновременно с этим и уровень фона тоже растет достаточно монотонно.

На четвертом этапе геометрическая зона развития дефекта уже столь велика, что в подшипнике начинается процесс саморазрушения (рис. 2). На пятом этапе развития дефекта уровень фона вибрации практически сравнялся с уровнем пиков, точнее говоря, весь вибрационный сигнал состоит из пиков.

При работе подшипника с дефектами на поверхностях качения в спектре вибрационного сигнала появляются характерные составляющие, гармоники с собственными частотами.

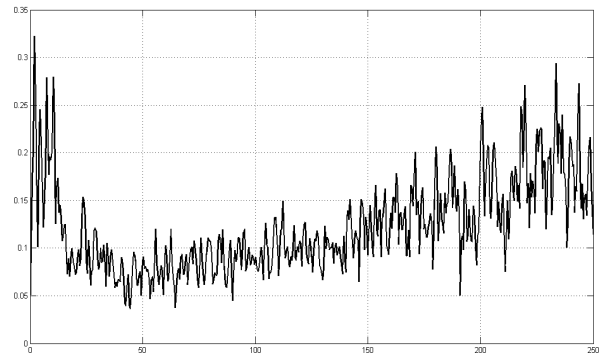


Рис. 2. Спектр сигнала подшипника с большой степенью разрушения

Численные значения частот этих гармоник зависят от соотношения геометрических размеров элементов подшипника, и однозначно связаны с оборотной частотой вращения ротора.

В нагруженном подшипнике качения можно выделить следующие гармоники: возникающие в связи с процессами на внешней и внутренней обойме подшипника, а также связанные с работой сепаратора и с частотой вращения тел качения – шариков или роликов. Частота обкатывания тел качения по внешней обойме подшипника

$$F_H = \frac{N_{\text{ТК}}}{2F_1 \left( 1 - \frac{D_{\text{ТК}}}{D_c \cos j} \right)},$$

где  $N_{\text{ТК}}$  – количество тел качения в одном ряду подшипника;  $F_1$  – оборотная частота вращения ротора;  $D_{\text{ТК}}$  – диаметр тела качения;  $D_c$  – средний диаметр сепаратора;  $j$  – угол контакта тела качения с обоймой.

Частота обкатывания тел качения по внутренней обойме

$$F_B = \frac{N_{\text{ТК}}}{2F_1 \left( 1 + \frac{D_{\text{ТК}}}{D_c \cos j} \right)}.$$

Частота работы сепаратора

$$F_B = \frac{1}{2F_1 \left( 1 + \frac{D_{\text{ТК}}}{D_c \cos j} \right)}.$$

Частота вращения тел качения:

$$F_{\text{ТК}} = \frac{1}{2F_1 \frac{D_{\text{ТК}}}{D_c} \left( 1 - \frac{D_{\text{ТК}}^2}{D_c^2 \cos^2 j} \right)}.$$

Как видно из этих формул, для точного определения характерных гармоник работы подшипника качения достаточно четырех первичных параметров, три из которых являются конструктивными, а четвертый определяется частотой вращения шпинделя.

В самом общем случае оценка технического состояния и поиск дефектов подшипников качения может производиться четырьмя наиболее распро-

страненними методами по следующим диагностическим параметрам.

1. По величине СКЗ виброскорости. Данный метод позволяет выявлять дефекты подшипников на последних стадиях, начиная, примерно, с середины третьего этапа развития дефекта, когда общий уровень вибрации значительно вырастает. Метод диагностики прост, имеет нормативную базу, требует минимальных технических затрат.

2. Диагностика дефектов подшипников качения по спектрам вибрационных сигналов. Этот метод применяется на практике достаточно часто, хотя и не обладает высокой чувствительностью, но он позволяет выявлять, наряду с диагностикой подшипников, большое количество других дефектов вращающегося оборудования. Метод позволяет начинать диагностику дефектов подшипников примерно с середины второго этапа, когда энергия резонансных колебаний вырастет настолько, что будет заметна в общей картине частотного распределения всей мощности вибросигнала.

3. Диагностика дефектов по соотношению пик / фон вибросигнала. Данный метод позволяет выявлять дефекты подшипников качения на достаточно ранних стадиях, начиная примерно с конца первого этапа развития. Приборы, реализующие данный метод диагностики дефектов достаточно просты и дешевы.

4. Диагностика дефектов подшипников качения по спектру огибающей вибрационного сигнала. Метод позволяет выявлять дефекты подшипников на самых ранних стадиях, начиная примерно с середины первого этапа. Теоретически данный метод диагностики дефектов подшипников качения может базироваться как на анализе акустических, так и вибрационных сигналов. В первом случае метод называется SEE (Spectral Energy Emitted – анализ излучаемой спектральной энергии), и для своей работы использует специальный датчик акустического излучения. Чаще всего для такой диагностики

используют акустические детекторы различных модификаций, работающие в диапазоне частот до 100 кГц. В этом случае измерение акустических параметров производится дистанционно с некоторого удаления от контролируемого подшипника.

На основе указанных методов проводились исследования колесообрабатывающего станка модели КЖ20. Анализ результатов показал наличие дефектов в шпиндельных подшипниках одного из приводов главного движения. Предположительный диагноз неисправности подтвердился при ремонте этого узла.

## Выводы

Достоверность результатов экспресс-анализа состояния узлов колесообрабатывающих станков подтверждена в производственных условиях. Использование разработанной аппаратуры и методов оценки дает возможность прогнозировать изменение технического состояния станка, вырабатывать рекомендации по виду и срокам технического обслуживания и ремонта.

## Список литературы

1. Тихенко В.Н. Повышение эффективности обработки на колесотокарных станках / В.Н. Тихенко, С.В. Пчелинский. – Труды Одесского политехнического университета. – Одесса, ОНПУ, 2012, – Вып. 1(38). – С. 84 – 87.
2. Савинов Ю.И. Определение параметров механических систем станков / Ю.И. Савинов // Станки и инструмент. – 2010. – №10. – С. 8-10.
3. Махов Ф.Ф. Вибродиагностика станков / Ф.Ф. Махов. – М.: Lap Lambert Academic Publishing, 2011. – 204 с.
4. Вибродиагностика станка для обработки колесных пар. / В.Н. Тихенко, В.И. Старцев, А.А. Анисимов, С.В. Пчелинский // Вісник Чернігівського держ. технологічного ун-ту. – Чернігів, ЧДТУ, 2015. – №2(78). – С. 60-64.

Поступила в редколлегию 23.03.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.П. Яглинский, Одесский национальный политехнический университет, Одесса.

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ СТАНУ ВУЗЛІВ СТАНКА ДЛЯ ОБРОБКИ КОЛІСНИХ ПАР

В.М. Тіхенко, В.І. Старцев, О.О. Анісімов, С.В. Пчелінський

*Верстати для обробки колісних пар працюють у важких умовах навантаження силами різання, що, в першу чергу, позначається на працездатності підшипників кочення шпиндельних вузлів. Розглянуто методи вібродіагностики таких верстатів, які дозволяють визначити дефекти без розбирання вузлів, а також знизити вартість обслуговування і ремонту. Результати досліджень, проведених з використанням розробленого вібровимірювального обладнання, виявили несправності шпиндельних підшипників приводу верстата, що було підтверджено під час проведення ремонтних роботах.*

**Ключові слова:** вібродіагностика, спектр, підшипник кочення, колесообробний верстат.

## METHODOLOGY ASSESSING THE STATE UNITS OF THE MACHINE FOR PROCESSING OF WHEEL PAIRS

V.N. Tikhenko, V.I. Startsev, A.A. Anisimov, S.V. Pchelinskiy

*Machine tools for processing of wheel pairs are working on heavy duty loading of cutting forces, which primarily affects the performance of rolling bearings spindle assemblies. The methods of vibration diagnostics of machines that allow you to identify defects without disassembly of components, as well as reduce the cost of maintenance and repair are considered. Studies conducted using the developed vibration measurement equipment, revealed a fault spindle drive of the machine bearings, which was confirmed during the repair work.*

**Keywords:** vibration diagnostics, range, roller bearing, wheel machine tool.