

Б. Л. Герике^{1, 2}, д-р техн. наук, проф., **Ю. В. Дрозденко**¹, канд. техн. наук, доц.,
П. Б. Герике², канд. техн. наук, **Е. Г. Кузин**³, ст. преп., **А. А. Мокрушев**^{1, 2}, асп.

¹КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева, г. Кемерово

²ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово

³Филиал КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева, г. Прокопьевск, Кемеровская обл.

E-mail: gbl_42@mail.ru, duv.gmik@kuzstu.ru

Распознавание дефектов подшипников качения в редукторах горных машин по параметрам вибрационного сигнала

Рассмотрен подход к распознаванию дефектов подшипников качения, используемых в различных узлах и агрегатах горных машин и оборудования на основе вейвлет преобразования виброакустических сигналов, генерируемых различными дефектами, возникающих в опорных элементах приводных, преобразующих и исполнительных механизмов горношахтного оборудования. Приведена классификация существующих методов диагностики технического состояния подшипников качения. Рассмотрены достоинства и недостатки этих методов. Построена модель формирования ударных импульсов при возникновении дефектов и показана возможность применения вейвлет преобразований для распознавания технического состояния. Рассмотрен пример диагностики коренных подшипников дизель-гидравлического бурового станка DML.

Ключевые слова: горные машины, вибрация, подшипники качения, ударный импульс, вейвлет-преобразование, техническое состояние

В настоящее время роль диагностики технического состояния горных машин и оборудования постоянно растет [1]. Основные проблемы механических неисправностей горношахтного оборудования (дисбаланс, расцентровка, дефекты зубчатых передач и т. п.) приводят, как правило, к возникновению проблем функционирования опорных элементов во всевозможных приводных, преобразующих и исполнительных механизмах — подшипников качения.

Существуют следующие виды повреждений подшипников — первичные (износ, вмятины, задиры, поверхностные разрушения, коррозия, последствия прохождения электрического тока) и вторичные (усталостные раковины, трещины) [2, 3]:

износ возникает тогда, когда в подшипник проникают инородные частицы или имеет место недостаточное смазывание. Он может быть также следствием вибрации не вращающегося подшипника, которые порождают малые относительные перемещения между телами качения и кольцами подшипника. Под влиянием такого процесса со временем на дорожках качения возникают углубления;

вмятины на дорожках качения и телах качения могут возникать в тех случаях, когда силы монтажа передаются на кольца через тела качения. Равным образом вмятины возникают при чрезмерно больших нагрузках на подшипнико-

вые узлы в то время, когда подшипники не вращаются. Причиной вмятин может быть проникновение в подшипник инородных частиц;

задиры возникают при недостаточной смазываемости поверхностей скольжения под нагрузкой, когда происходит перенос частиц металла с одной поверхности на другую. Поверхности при этом выглядят шероховатыми. При возникновении задиры материал подшипника нагревается до температуры, при которой происходит отпуск. Возникает местная концентрация напряжений, следствием которой является образование трещин и раковин. Также задиры могут возникать тогда, когда тела качения входят в нагруженную зону с большим ускорением;

поверхностные разрушения возникают в случае слишком тонкого смазывающего слоя между дорожками и телами качения, когда вершины шероховатостей кратковременно соприкасаются друг с другом. При этом на поверхностях образуются мельчайшие трещины. В рассматриваемом процессе поверхностные разрушения первоначально микроскопически малые, затем быстро увеличиваются и, в конце концов, препятствуют плавному вращению подшипника. Трещины описанного вида могут ускорить процесс образования усталостных трещин (вторичные повреждения) под поверхностью дорожек качения и этим снизить долговечность подшипника. При достаточном смазывании нет опасности возникнове-

ния разрушений описанного вида до тех пор, пока смазывающий слой не становится слишком тонким, либо вследствие изменения вязкости масла из-за повышения температуры, либо при чрезмерном возрастании нагрузки;

атмосферная коррозия возникает в случае проникновения в подшипник атмосферной влаги или агрессивной среды в таком объеме, что разрывают (размывают) смазочную пленку в местах контакта тел и дорожек качения;

прохождение электрического тока через подшипник от одного кольца через тела качения к другому кольцу вызывает повреждения подшипника. В местах перехода процесс подобен электродуговой сварке. При этом материал подшипника может нагреваться до температуры плавления. При этом образуются окрашенные области различной величины, в которых материал отожен и снова закален, а иногда даже оплавлен. В местах, на которых металл был оплавлен, могут также возникать маленькие лунки;

усталостные раковины или выкрашивание (вторичные повреждения) являются результатом многократного перенапряжения вследствие одновременного действия качения и скольжения. Образование усталостных раковин, как и при обычных усталостных разрушениях, начинается с первичной трещины. Эта трещина развивается не в глубину детали, а, захватывая небольшой объем металла, замыкается на поверхности.

Существующие методы анализа технического состояния подшипников качения [4–6] в очень редких случаях позволяют диагностировать с достаточной точностью их неисправность, поскольку использование прямого спектрального анализа виброакустического сигнала для распознавания дефектов подшипников качения затруднено из-за малых амплитуд этих частотных составляющих, теряющихся на фоне "коврового шума".

Основные методы диагностики неисправностей в подшипниках качения можно разделить на две группы:

оценка состояния подшипника качения проводится на основании сравнения с данными предыдущих замеров методом *BEARCON* (*Schenck*), узкополосным спектральным анализом, кепстральным анализом (*Bruel@Kjar*), анализом эксцесса случайного процесса (*Диамех 2000*) и т. п. [4–6];

оценка состояния подшипника качения проводится по однократному замеру методами *SPM* (*SKF*), анализа огибающих (*Boeing*) и т. п. [7, 8].

Вибродиагностика решает следующие практические задачи обслуживания машин и оборудования:

разделение множества возможных технических состояний агрегата на два подмножества: исправных и неисправных;

постановка диагноза, состоящего в определении характера и локализации одного или группы дефектов, соответствующих вибрационному состоянию агрегата;

обнаружение возможного дефекта на ранней стадии и прогнозирование его развития во времени;

отсутствие, как правило, монтажно-демонтажных работ оборудования и сокращение времени диагностирования;

снижение риска возникновения аварийной ситуации при эксплуатации оборудования.

Общими недостатками этих методов являются: очень слабая чувствительность;

особые требования к способу крепления датчика вибрации;

зависимость параметров вибрации от большого количества факторов и сложность выделения вибрационного сигнала, обусловленного наличием неисправности, что требует глубокого знания методов корреляционного и регрессионного анализа и их корректного использования;

точность диагностирования в большинстве случаев зависит от числа сглаженных параметров, например, числа оценок *SPM* [9].

Для создания более чувствительного метода диагностики дефектов необходимо более глубокое изучение динамических процессов, происходящих в подшипниках качения, и их моделирование.

Рассмотрим процесс возникновения ударного импульса, который можно описать следующей моделью:

$$x(t) = a_0 \lambda^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (1)$$

где x — смещение; a_0 — начальная амплитуда; ω — частота затухающих колебаний, связанная с частотой собственных колебаний $\omega^2 = \omega_0^2 - \beta^2$; $\beta = rt/2m$ — скорость затухания колебаний; r — коэффициент сопротивления; m — масса колеблющейся системы.

Частота собственных колебаний системы здесь понимается как частота, с которой колебалась бы система при отсутствии сил сопротивления [10]. График этой модели представлен на рис. 1.

В этой модели рассматривается цельная однородная система. На практике же этот процесс выглядит сложнее. Любая машина состоит из

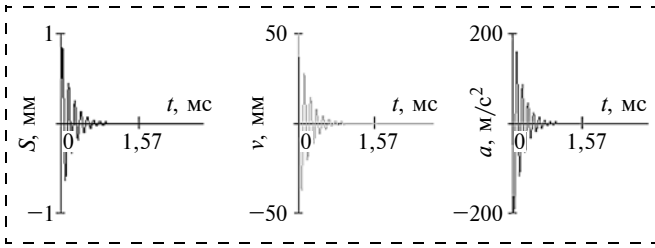


Рис. 1. Виброперемещение, виброскорость и виброускорение

нескольких частей: статора, ротора, станины, корпуса и пр., которые обладают некоторой подвижностью относительно друг друга. Энергия, поступившая от удара, распределяется между этими узлами, заставляя их колебаться с различными, характерными для них, собственными частотами. На рис. 2 приведена форма сигнала виброускорения, зафиксированная на неработающей экспериментальной установке, по которой производились несильные периодические удары металлическим молотком.

Даже в самом исходном сигнале заметно присутствие низкочастотных и высокочастотных составляющих. Но наиболее различимы частотные компоненты при Фурье-преобразовании виброакустического сигнала, как это можно видеть на рис. 3.

Для каждой частоты характерны также различные скорости затухания. На рис. 4 показано изменение амплитуд различных частотных составляющих центрального (расположенного в середине временной развертки) ударного импульса во времени. Показанные срезы разделены равными временными интервалами.

Здесь можно провести аналогию с электромагнитными волнами, которые в зависимости от длины (частоты) имеют большие, или, соответственно, меньшие свойства поглощения (рассеивания). Вместе с тем это связано и с массой конкретного узла, создающего эту частоту, и присутствия каких-либо демпферов (поглотителей энергии), например таких, как амортизаторы.

Различие в амплитуде в начальный момент времени обусловлено, по-видимому, геометрией механизма — расстоянием между источником импульса и конкретным узлом, наличием препятствий для распространения энергии.

Предполагая линейность изучаемой системы, реальный импульс можно представить в виде суммы модельных импульсов с различными частотами и различными скоростями затухания:

$$I(t) = \sum_{i=1}^N a_i \lambda^{-\beta_i t} \cos(\omega_i t + \varphi_i). \quad (2)$$

Далее для преобразования исходного сигнала к виду (2) оптимальным было бы разложение исходного сигнала по базису $x_i(t)$, но, к сожалению, система $x_i(t)$ не является ортогональной. Следовательно, необходимо построить ортонормированную систему $\{[e_1(t), e_2(t), \dots, e_n(t)], [e_i(t), e_j(t)] = 0, \forall i \neq j, [e_i(t), e_i(t)] = 1, \forall i \in 1 \dots N\}$ по аналогии с рядами Фурье, причем желательно с минимальной коррекцией исходной системы $x_i(t)$.

В 1970-х гг. появились, так называемые, вейвлет-методы (методы всплесков). На вейвлет-функцию накладываются два ограничения:

она должна быть достаточно локализована (обращаться в ноль при удалении от начала координат);

интеграл от функции на $(-\infty; +\infty)$ должен быть равен нулю.

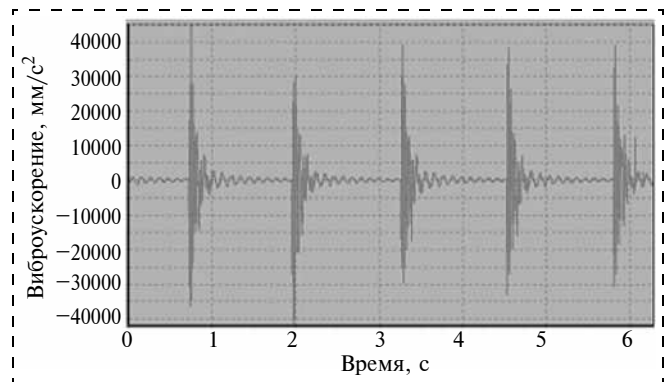


Рис. 2. Сигнал виброускорения

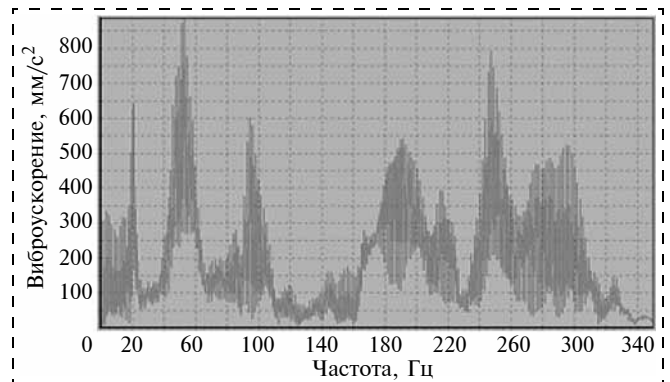


Рис. 3. Спектр сигнала виброускорения

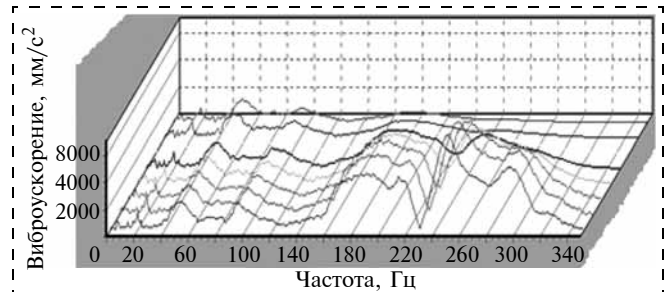


Рис. 4. Эволюция частот импульса во времени

Само вейвлет-преобразование выглядит следующим образом:

$$W_{\Psi}f(a, b) = \frac{1}{\sqrt{C_{\Psi}}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{b-x}{a}\right) f(x) dx, \quad (3)$$

где Ψ — вейвлет-функция; a — масштаб; b — сдвиг.

Нормирующий коэффициент равен

$$C_{\Psi} = 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty, \quad (4)$$

где $\Psi(\omega)$ — Фурье-образ вейвлета Ψ .

Свобода в выборе базисных функций $\Psi\left(\frac{b-x}{a}\right)$

позволила ввести многие типы вейвлетов: Хаара, Добеши, Гаусса, Морле и др.

По своей сути вейвлет-преобразование представляет собой представление сигнала в виде одинаковых по форме коротких "всплесков", которые можно сдвигать и растягивать по временной оси. В этом и заключается принципиальное отличие от бесконечных волн преобразования Фурье [9].

Помимо рассмотренного выше непрерывного вейвлет-преобразования существует дискретное преобразование, в котором имеет место процесс фильтрации. Благодаря этому возникают два таких понятия как аппроксимация (приближение) и детали. Аппроксимация представляет собой высоко-смаштабированные высокочастотные компоненты, детали — это низко-смаштабированные высокочастотные компоненты. В итоге получается, что первоначальный сигнал разбивается на два сигнала, дополняющих друг друга, что дает в 2 раза больше данных о первоначальном сигнале. По сравнению с разложением сиг-

налов на ряды Фурье, вейвлеты обладают способностью представлять локальные особенности сигналов с большей степенью точности и решать проблемы выявления дефектов оборудования более точным, комплексным способом [11, 12].

Таким образом, вейвлет-функция обладает необходимыми свойствами для решения поставленной выше задачи. Например, эволюция частот импульса во времени (см. рис. 4) построена при помощи модифицированного вейвлет-преобразования Хаара. Как уже отмечалось, большим преимуществом этого метода является его локальность, т. е. появляется возможность проследить динамику изменения амплитуд частотных компонент.

Рассмотрим пример практического применения разработанного подхода для распознавания дефекта подшипника качения, установленного на дизельном двигателе *Caterpillar 3406C* дизель-гидравлического бурового станка *DML-1200*.

На рис. 5 приведена схема контрольных точек измерения виброакустического сигнала и результаты диагностирования его технического состояния.

На рис. 6 приведены результаты обработки виброакустического сигнала, измеренного в контрольной точке 5, представленных в виде энергетического спектра (см. рис. 6, а) и вейвлета Хаара (см. рис. 6, б) из анализа которых следует, что виброактивность в контрольной точке 5 выше допустимых норм.

Как показал анализ изменения технического состояния, обнаруженный дефект относится по своему характеру к износовому отказу [2], а по типу — к износу беговой дорожки и тел качения коренного подшипника "схватыванием 1 рода" [3]. Последующий визуальный осмотр и дефектация

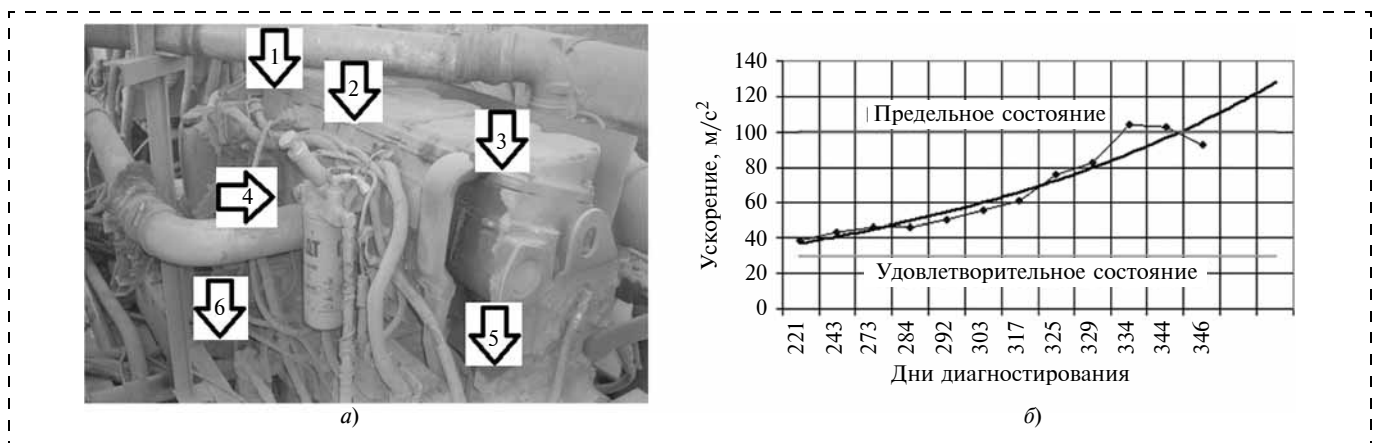


Рис. 5. Схема проведения замеров параметров вибрации на дизельном двигателе *Caterpillar 3406C* (а) и деградация технического состояния коренного подшипника (б)

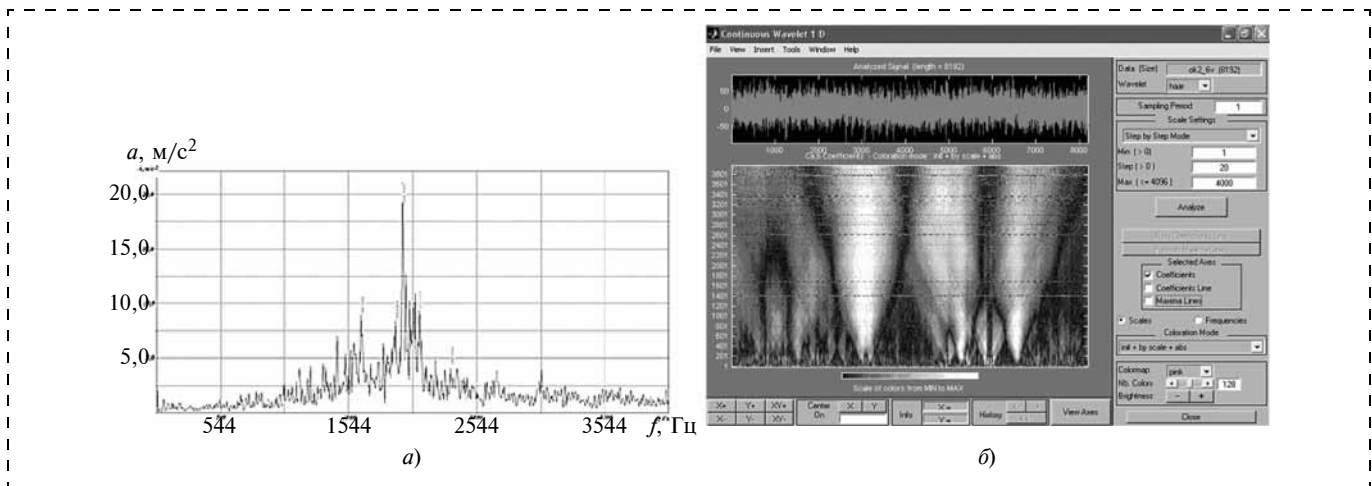


Рис. 6. Фурье-преобразование (а) и вейвлет-преобразование Хаара (б) виброакустического сигнала развитого дефекта двухрядного подшипника коленчатого вала

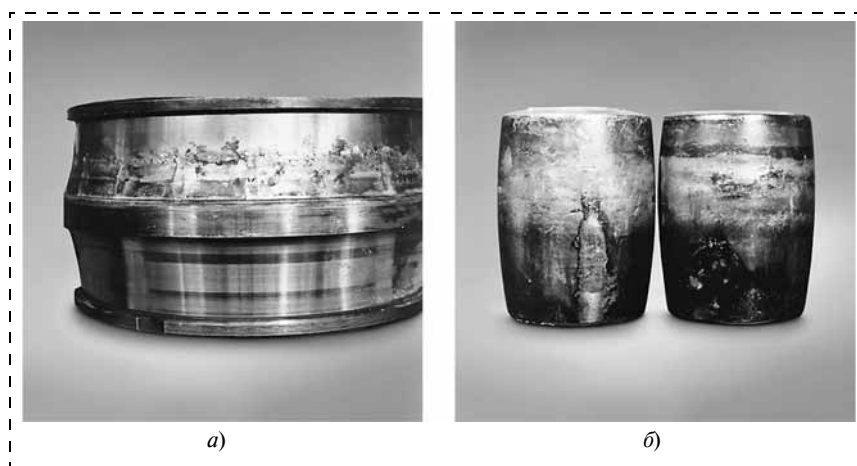


Рис. 7. Повреждения коренного подшипника: а — износ беговой дорожки; б — износ тел качения

подшипника показали правильность поставленного диагноза (рис. 7).

С использованием прогностической модели на основе статистических результатов вибродиагностики появляется возможность в достаточной мере точно оценить исследуемую неисправность, а также спрогнозировать остаточный ресурс узла или агрегата и осуществлять эффективное планирование ремонтных работ, предупредительные возникновения аварийных отказов.

Предложенное решение позволит минимизировать издержки, связанные с внезапным выходом из строя подшипников качения, оптимизировать логистику и складское хозяйство. Будут созданы все условия для перехода к качественно новой системе управления техническим обслуживанием горношахтного оборудования.

Список литературы

1. Герике Б. Л., Хорешок А. А., Дрозденко Ю. В. Обеспечение качества выпускаемой продукции заводов горного машиностроения // Вестник КузГТУ. № 5. 2016. С. 33—40.
2. Диагностика неполадок подшипников. NSK Motion&Control, 2009. 42 р.
3. Повреждения подшипников качения и их причины. SKF АВ, 2002. 46 р.
4. Ширман А. Р., Соловьев А. Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. М., 1996. 276 с.
5. Неразрушающий контроль: справочник. В 8-ми т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 7: В 2-х кн. Кн. 1: В. И. Иванов, И. Э. Власов. Метод акустической эмиссии. Кн. 2: Ф. Я. Балицкий, А. В. Барков, Н. А. Баркова и др. Вибродиагностика. 2-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2006. 829 с.
6. Rudloff L., Arghir M., Bonneau O., Guingo S., Chemla G., Renard E. Experimental Analysis of the Dynamic Characteristics of A Hybrid Aerostatic Bearing // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. Vol. 134 (18). 2012.
7. Костюков В. Н., Науменко А. П. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин: учеб. пособие. Омск: Изд. ОмГТУ, 2011. 368 с.
8. Сальников А. Ф. Виброакустическая диагностика технических объектов: учеб. пособие. Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011. 246 с.
9. Kelly, S. Graham. Advanced vibration analysis. 2013. 637 p.
10. Шебакин О. Д. Физические основы механики и акустики. М.: Высшая школа, 1981. С. 184.
11. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. 1996. Т. 166. № 11. С. 1145—1170.
12. Витязев В. В. Вейвлет-анализ временных рядов: учеб. пособие. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2001. 58 с.

B. L. Gerike^{1, 2}, Professor, e-mail: gbl_42@mail.ru,

Yu. V. Drozdenko¹, Associate Professor, e-mail: duv.gmik@kuzstu.ru,

P. B. Gerike², **E. G. Kuzin**³, Senior Lecturer, **A. A. Mokrushev**^{1, 2}, Postgraduate Student

¹Kuzbass State Technical University after T. F. Gorbachev, Kemerovo, Russia

²SB RAS Kemerovo Science Center, Kemerovo, Russia

³Regional Campus of Kuzbass State Technical University after T. F. Gorbachev, Prokopyevsk, Russia

Recognition of Defects of Rolling Bearings in Gearboxes of Mining Machines Based on Evaluation of Vibration Parameters

In article an approach to recognition of defects of the rolling bearings used in various units of mining machines and equipment is considered. Approach is based on wavelet transformations of the vibroacoustic signals generated by various defects. Classification of the existing methods of diagnostics of technical condition of rolling bearings is given. Advantages and disadvantages of these methods are considered. Model of formation of shock impulses at appearance of defects is constructed and the opportunity of application of wavelet transformations for recognition the technical condition is shown. An example of bearings diagnostics of the DML drilling rig is also considered.

Keywords: mine machine, vibration, rolling bearings, shock impulse, wavelet transformation, technical condition

References

1. **Gerike B. L., Horeshok A. A., Drozdenko Ju. V.** Obespechenie kachestva vypuskaemoy produkcii zavodov gornogo mashinostroenija, *Vestnik KuzGTU*, no. 5, 2016, pp. 33–40 (in Russian).

2. **Diagnostika nepoladok podshipnikov**, NSK Motion&Control, 2009, 42 p. (in Russian).

3. **Povrezhdenija podshipnikov kachenija i ih prichiny**, SKF AB, 2002, 46 p. (in Russian).

4. **Shirman A. R., Solov'ev A. B.** *Prakticheskaja vibro-diagnostika i monitoring sostojanija mehanicheskogo oborudovanija*, Moscow, 1996, 276 p. (in Russian).

5. **Nerazrushajushij kontrol'**, spravochnik, v 8-mi vol., pod obshh. red. V. V. Kljueva, vol. 7, v 2-x kn, kn. 1, V. I. Ivanov, I. Je. Vlasov, *Metod akusticheskoy jemissii*, kn. 2, F. Ja. Ballykij, A. V. Barkov, N. A. Barkova i dr. *Vibrodiagnostika*, 2-e izd., ispr., Moscow, Mashinostroenie, 2006, 829 p. (in Russian).

6. **Rudloff L., Arghir M., Bonneau O., Guingo S., Chemla G., Renard E.** Experimental Analysis of the Dy-

namic Characteristics of A Hybrid Aerostatic Bearing, *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, vol. 134 (18), 2012.

7. **Kostjukov V. N., Naumenko A. P.** *Osnovy vibroakusticheskoy diagnostiki i monitoringa mashin*, ucheb. posobie, Omsk, Izd. OmGTU, 2011, 368 p. (in Russian).

8. **Sal'nikov A. F.** *Vibroakusticheskaja diagnostika tehniceskikh ob'ektov*, ucheb. posobie, Perm', Izd-vo PNIPU, 2011, 246 p. (in Russian).

9. **Kelly, S. Graham.** *Advanced vibration analysis*, 2013. 637 p.

10. **Shebalin O. D.** *Fizicheskie osnovy mehaniki i akustiki*, Moscow, Vysshaja shkola, 1981, pp. 184.

11. **Astaf'eva N. M.** *Vejvlet-analiz: osnovy teorii i primery primenenija*, *Uspehi Fizicheskikh Nauk*, 1996, vol. 166, no. 11, pp. 1145–1170 (in Russian).

12. **Vitjazev V. V.** *Vejvlet-analiz vremennyh rjadov*, ucheb. posobie, Saint Petersburg, Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 2001, 58 p. (in Russian).

ООО "Издательство "Новые технологии", 107076, Москва, Стромьинский пер., 4

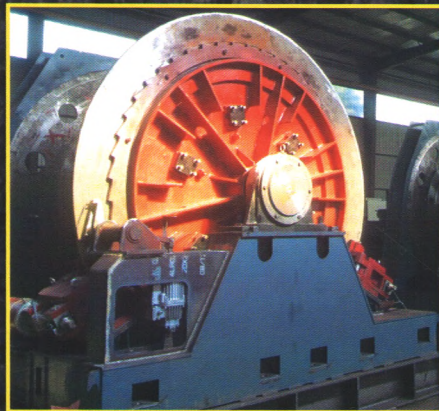
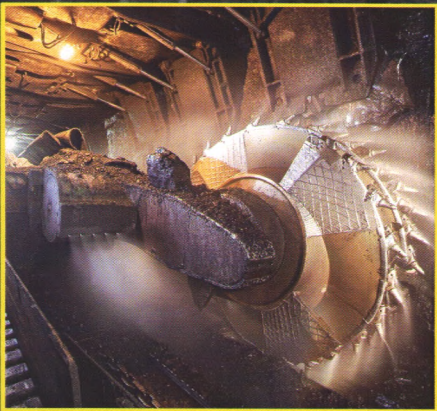
Технический редактор *Е.В. Конова*. Корректор *З.В. Наумова*.

Сдано в набор 12.04.2017. Подписано в печать 30.05.2017. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Заказ ГО417. Цена свободная.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-19854 от 15 апреля 2005 г.

Оригинал-макет ООО "Авансд солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансд солюшнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru

ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА



5₍₁₃₂₎ ♦ 2017

Учредитель: Издательство "НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

Главный редактор

КАНТОВИЧ Л.И., д.т.н., проф.

Зам. гл. редактора:

ЛАГУНОВА Ю.А., д.т.н., проф.

ХОРЕШОК А.А., д.т.н., проф.

Редакционный совет:

КОЗОВОЙ Г.И., д.т.н.

(сопредседатель)

ТРУБЕЦКОЙ К.Н., акад. РАН, д.т.н.

(сопредседатель)

АНТОНОВ Б.И.

ГАЛКИН В.А., д.т.н.

КОЗЯРУК А.Е., д.т.н., проф.

КОСАРЕВ Н.П., д.т.н., проф.

МЕРЗЛЯКОВ В.Г., д.т.н., проф.

ЧЕРВЯКОВ С.А., к.т.н.

Редакционная коллегия:

АБРАМОВИЧ Б.Н., д.т.н., проф.

АНДРЕЕВА Л.И., д.т.н.

ГАЛКИН В.И., д.т.н., проф.

ГЛЕБОВ А.В., к.т.н.

ЕГОРОВ А.Н. (Белоруссия)

ЖАБИН А.Б., д.т.н., проф.

ЗЫРЯНОВ И.В., д.т.н.

МУХОРТИКОВ С.Г., к.т.н.

МЫШЛЯЕВ Б.К., д.т.н., проф.

ПЕВЗNER Л.Д., д.т.н., проф.

ПЕТРОВ В.Л., д.т.н., проф.

ПЛЮТОВ Ю.А., к.т.н., доц.

ПОДЭРНИ Р.Ю., д.т.н., проф.

СЕМЕНОВ В.В., к.т.н.

СТАДНИК Н.И. (Украина), д.т.н., проф.

ТРИФАНОВ Г.Д., д.т.н., доц.

ХАЗАНОВИЧ Г.Ш., д.т.н., проф.

ЮНГМЕЙСТЕР Д.А., д.т.н., проф.

Редакция:

ДАНИЛИНА И.С.

Телефон редакции:

(499) 269-53-97

Факс: (499) 269-55-10

Email: gma@novtex.ru

http: <http://novtex.ru/gormash>

СОДЕРЖАНИЕ

От редакции

Хорешок А. А., Ютяев Е. Л., Мешков А. А., Маметьев Л. Е. О подготовке кадров для угольной отрасли Кузбасса

Стебнев А. В., Габов В. В., Бабьрь Н. В. Методика выбора параметров блока безымпурсного регулирования сопротивления гидравлических стоек секций крепи опусканию пород кровли

Буялич Г. Д., Шмат В. Н., Хуснутдинов М. К. Особенности шарошечного бурового инструмента для получения некруглого поперечного сечения скважины

Гуляев В. Г. Актуальность и проблемы создания автоматизированных струговых комплексов для безлюдной выемки пологих тонких угольных пластов Донецкого бассейна

Хорешок А. А., Маметьев Л. Е., Цехин А. М., Мешков А. А., Борисов А. Ю. Обоснование параметров мощности привода двухкорончатого стреловидного исполнительного органа с дисковым инструментом на трехгранных призмах

Маметьев Л. Е., Цехин А. М., Нестеров В. И., Садыков С. И., Борисов А. Ю. Определение устойчивости проходческого комбайна с двухкорончатым стреловидным исполнительным органом

Ещин Е. К. Детализация расчетов динамических режимов работы электроприводов горных машин

Буялич Г. Д., Фурман А. С. Исследование транспортного процесса карьерных автосамосвалов

Герике Б. Л., Дрозденко Ю. В., Герике П. Б., Кузин Е. Г., Мокрушев А. А. Распознавание дефектов подшипников качения в редукторах горных машин по параметрам вибрационного сигнала

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, и входит в систему Российского индекса научного цитирования.

GORNOE OБОРУДОВАНИЕ I ELEKTROMECHANIKA

Editor-in-Chief

KANTOVICH L.I., Dr. Sci. (Tech.)

Deputy Editor-in-Chief:

KHORESHOK A.A., Dr. Sci. (Tech.)

LAGUNOVA Yu.A., Dr. Sci. (Tech.)

Editorial Council:

KOZOVY G.I. (co-chairman), Dr. Sci. (Tech.)

TRUBETSKOY K.N. (co-chairman),

Dr. Sci. (Tech.), Acad. RAS

ANTONOV B.I.

CHERVYAKOV S.A., Cand. Sci. (Tech.)

GALKIN V.A., Dr. Sci. (Tech.)

KOZYARUK A.E., Dr. Sci. (Tech.)

KOSAREV N.P., Dr. Sci. (Tech.)

MERZLYAKOV V.G., Dr. Sci. (Tech.)

Editorial Board Members:

ABRAMOVICH B.N., Dr. Sci. (Tech.)

ANDREEVA L.I., Dr. Sci. (Tech.)

EGOROV A.N. (Belarus)

GALKIN V.I., Dr. Sci. (Tech.)

GLEBOV A.V., Cand. Sci. (Tech.)

KHAZANOVICH G.Sh., Dr. Sci. (Tech.)

MUKHORTIKOV S.G., Cand. Sci. (Tech.)

MYSHLYAEV B.K., Dr. Sci. (Tech.)

PEVZNER L.D., Dr. Sci. (Tech.)

PETROV V.L., Dr. Sci. (Tech.)

PLYUTOV Yu.A., Cand. Sci. (Tech.)

PODERNI R.Yu., Dr. Sci. (Tech.)

SEMENOV V.V., Cand. Sci. (Tech.)

STADNIK N.I. (Ukraine), Dr. Sci. (Tech.)

TRIFANOV G.D., Dr. Sci. (Tech.)

YUNGMEYSTER D.A., Dr. Sci. (Tech.)

ZHABIN A.B., Dr. Sci. (Tech.)

ZYRYANOV I.V., Dr. Sci. (Tech.)

Editorial Staff:

DANILINA I.S.

CONTENTS

Khoreshok A. A., Yutjaev E. L., Meshkov A. A., Mametyev L. E. Regarding Training of Professionals for Coal Industry in Kuzbass

Stebnev A. V., Gabov V. V., Babyr' N. V. Method of Choice of Parameters Non-Impact Regulation of Resistance of Hydraulic Racks of Sections Fix to Lowering of Breeds of a Roof

Buyalich G. D., Shmat V. N., Khusnutdinov M. K. Features of Rolling Drilling Tool to Receive a Non-Circular Cross-Section Borehole

Gulyaev V. G. Urgency and Problems of Creation of Automation Coal Plough Complexes for Unmanned Excavation of Sloping Low Seams of Donetsk Coalfield

Khoreshok A. A., Mametyev L. E., Tsekhin A. M., Meshkov A. A., Borisov A. Yu. Justification of Parameters of Drive Power Executive Body of Boom-Type with Two Crowns and Disk Tool on the Triangular Prisms

Mametyev L. E., Tsekhin A. M., Nesterov V. I., Sadykov S. I., Borisov A. Yu. The Definition of the Stability of Roadheader with Executive Body of Boom-Type with Two Crowns

Eshchin E. K. Detailed Calculations of Dynamic Operating Modes Electric Drives of Mining Machines

Buyalich G. D., Fuhrman A. S. Study of the Transport Process Mining Dump Trucks

Gerike B. L., Drozdenko Yu. V., Gerike P. B., Kuzin E. G., Mokrusev A. A. Recognition of Defects of Rolling Bearings in Gearboxes of Mining Machines Based on Evaluation of Vibration Parameters

Information about the journal is available online at:
<http://novtex.ru/gormash>, e-mail: gma@novtex.ru

B. L. Gerike^{1, 2}, Professor, e-mail: gbl_42@mail.ru,

Yu. V. Drozdenko¹, Associate Professor, e-mail: duv.gmik@kuzstu.ru,

P. B. Gerike², **E. G. Kuzin**³, Senior Lecturer, **A. A. Mokrushev**^{1, 2}, Postgraduate Student

¹Kuzbass State Technical University after T. F. Gorbachev, Kemerovo, Russia

²SB RAS Kemerovo Science Center, Kemerovo, Russia

³Regional Campus of Kuzbass State Technical University after T. F. Gorbachev, Prokopyevsk, Russia

Recognition of Defects of Rolling Bearings in Gearboxes of Mining Machines Based on Evaluation of Vibration Parameters

In article an approach to recognition of defects of the rolling bearings used in various units of mining machines and equipment is considered. Approach is based on wavelet transformations of the vibroacoustic signals generated by various defects. Classification of the existing methods of diagnostics of technical condition of rolling bearings is given. Advantages and disadvantages of these methods are considered. Model of formation of shock impulses at appearance of defects is constructed and the opportunity of application of wavelet transformations for recognition the technical condition is shown. An example of bearings diagnostics of the DML drilling rig is also considered.

Keywords: mine machine, vibration, rolling bearings, shock impulse, wavelet transformation, technical condition

References

1. **Gerike B. L., Horeshok A. A., Drozdenko Ju. V.** Obespechenie kachestva vypuskaemoy produkcii zavodov gornogo mashinostroenija, *Vestnik KuzGTU*, no. 5, 2016, pp. 33–40 (in Russian).

2. **Diagnostika nepoladok podshipnikov**, NSK Motion&Control, 2009, 42 p. (in Russian).

3. **Povrezhdenija podshipnikov kachenija i ih prichiny**, SKF AB, 2002, 46 p. (in Russian).

4. **Shirman A. R., Solov'ev A. B.** *Prakticheskaja vibro-diagnostika i monitoring sostojanija mehanicheskogo oborudovanija*, Moscow, 1996, 276 p. (in Russian).

5. **Nerazrushajushij kontrol'**, spravochnik, v 8-mi vol., pod obshh. red. V. V. Kljueva, vol. 7, v 2-x kn, kn. 1, V. I. Ivanov, I. Je. Vlasov, *Metod akusticheskoy jemissii*, kn. 2, F. Ja. Ballykij, A. V. Barkov, N. A. Barkova i dr. *Vibrodiagnostika*, 2-e izd., ispr., Moscow, Mashinostroenie, 2006, 829 p. (in Russian).

6. **Rudloff L., Arghir M., Bonneau O., Guingo S., Chemla G., Renard E.** Experimental Analysis of the Dy-

namic Characteristics of A Hybrid Aerostatic Bearing, *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, vol. 134 (18), 2012.

7. **Kostjukov V. N., Naumenko A. P.** *Osnovy vibroakusticheskoy diagnostiki i monitoringa mashin*, ucheb. posobie, Omsk, Izd. OmGTU, 2011, 368 p. (in Russian).

8. **Sal'nikov A. F.** *Vibroakusticheskaja diagnostika tehniceskikh ob'ektov*, ucheb. posobie, Perm', Izd-vo PNIPU, 2011, 246 p. (in Russian).

9. **Kelly, S. Graham.** *Advanced vibration analysis*, 2013. 637 p.

10. **Shebalin O. D.** *Fizicheskie osnovy mehaniki i akustiki*, Moscow, Vysshaja shkola, 1981, pp. 184.

11. **Astaf'eva N. M.** *Vejvlet-analiz: osnovy teorii i primery primenenija*, *Uspehi Fizicheskikh Nauk*, 1996, vol. 166, no. 11, pp. 1145–1170 (in Russian).

12. **Vitjazev V. V.** *Vejvlet-analiz vremennyh rjadov*, ucheb. posobie, Saint Petersburg, Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 2001, 58 p. (in Russian).

ООО "Издательство "Новые технологии", 107076, Москва, Стромынский пер., 4

Технический редактор *Е.В. Конова*. Корректор *З.В. Наумова*.

Сдано в набор 12.04.2017. Подписано в печать 30.05.2017. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Заказ GO417. Цена свободная.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-19854 от 15 апреля 2005 г.

Оригинал-макет ООО "Авансд солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансд солюшнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru