

Оценка изменения технического состояния подшипников качения в результате изнашивания

© Л.А. Андриенко, В.А. Сазонов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Рассмотрены вопросы вибродиагностики изнашивания подшипниковых узлов с помощью традиционно используемых датчиков поперечных колебаний, а также с использованием датчика угловых перемещений, т. е. по крутильной составляющей вибраций. Показано, что в спектрах экспериментально снятых вибросигналов с датчиков угловых перемещений отчетливо видны подшипниковые частоты, а также изменение амплитудно-частотного состава вибросигнала дефектных подшипников, связанное с их изнашиванием. Предложено наряду с другими методами диагностики дефектов в подшипниковых узлах использовать датчики угловых перемещений, что упрощает анализ вибросигнала. Задача решалась на базе экспериментальных данных, полученных на стенде в лаборатории кафедры «Основы конструирования машин» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Ключевые слова: подшипники качения, изнашивание, вибрации, диагностика, экспериментальные исследования

Основным способом повышения надежности машин и оборудования, находящихся в эксплуатации, является регулярное проведение диагностических обследований и упредительных ремонтов [1].

Подшипники качения широко применяются во вращающемся оборудовании различного назначения. Без преувеличения можно сказать, что большая часть ремонтов оборудования, особенно малой и средней мощности, производится по причине возникновения дефектов в подшипниках качения. Поэтому вопросы оперативной оценки технического состояния таких подшипников, диагностики возникающих в них дефектов, а также прогнозирования возможности их дальнейшей эксплуатации занимают важное место в работе служб вибрационной диагностики.

Одной из причин вибрации подшипников качения во время работы являются силы трения в элементах подшипников. Дефекты износа вызывают периодическое изменение коэффициента трения, что приводит к модуляции уровня вибрации различными частотами. Большинство дефектов износа подшипников качения приводит к модуляции случайной высокочастотной вибрации подшипникового узла частотами, связанными определенными соотношениями с частотой вращения одного из колец подшипника [2].

Цель исследований — поиск диагностических признаков изнашивания подшипников качения по результатам анализа вибро-

сигналов, снимаемых датчиком поперечных колебаний, а также с использованием датчика угловых перемещений, снимающего вибросигнал крутильных колебаний вала с подшипниками.

Задача решалась на основе экспериментальных данных, полученных на испытательном стенде (рис. 1). Стенд создан на базе учебной лабораторной установки ДМ-32М (рис. 2), используемой для экспериментального определения момента сопротивления в подшипниках качения с дополнительно установленными датчиками поперечных и крутильных колебаний.

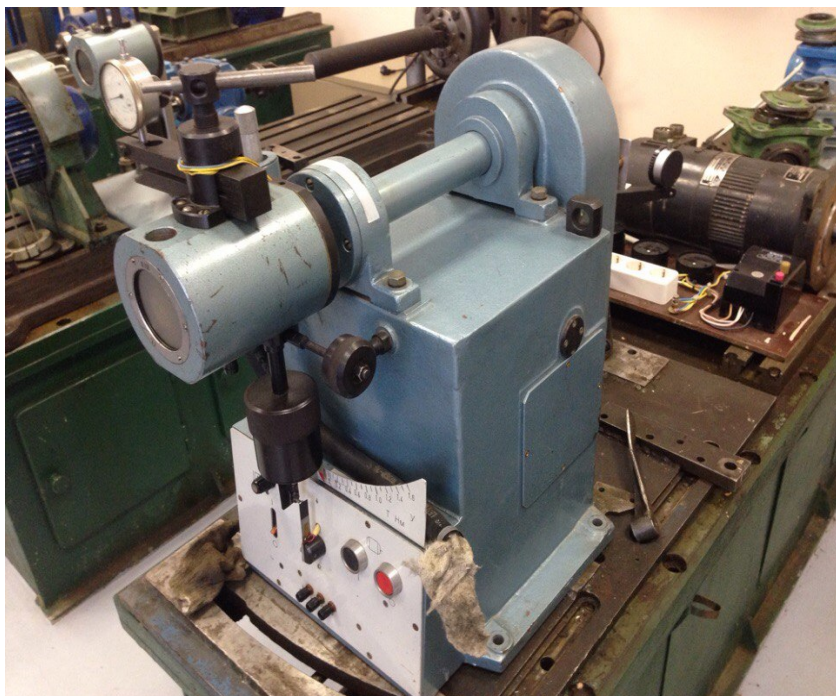


Рис. 1. Внешний вид испытательного стенда

В результате изнашивания в подшипнике возникают нарушения геометрии поверхностей качения наружного, внутреннего колец и тел качения, вследствие неравномерного износа создается разноразмерность тел качения. Эти дефекты влияют в основном на низкочастотную вибрацию подшипникового узла.

Разноразмерность тел качения приводит к многократному увеличению удельных нагрузок на поверхности качения и резкому снижению ресурса подшипника. Дефект сопровождается возрастанием низкочастотной вибрации на частоте вращения сепаратора подшипника, на ее второй и частично третьей гармониках, а также модуляцией сил трения и высокочастотной случайной вибрацией подшипника этими же частотами [3].

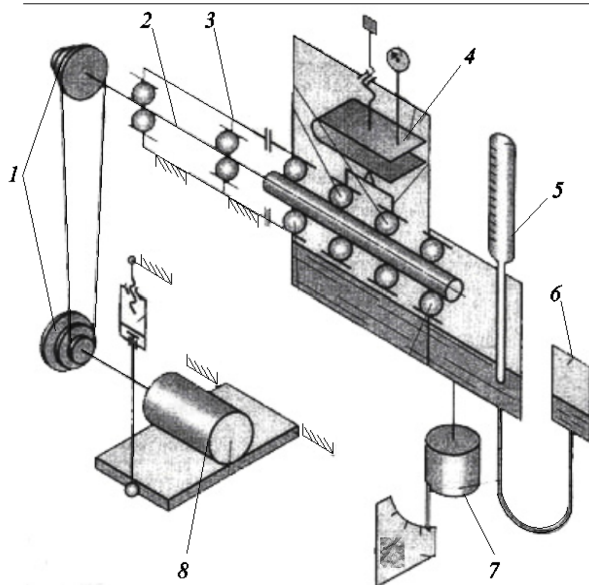


Рис. 2. Схема экспериментальной установки ДМ-32М:
 1 — шкивы; 2 — вал приводной; 3 — головка с подшипниками; 4 — скоба динамометрическая; 5 — шток;
 6 — цилиндр с маслом; 7 — маятник; 8 — двигатель

На рис. 3 показаны экспериментально снятые колебания момента трения T в подшипниках в низком диапазоне частот.

Как видим, в рассматриваемом диапазоне частот для изношенных подшипников момент трения и амплитуда его колебаний выше. Это связано также с изменением качества смазочного материала в результате изнашивания элементов подшипников [4].

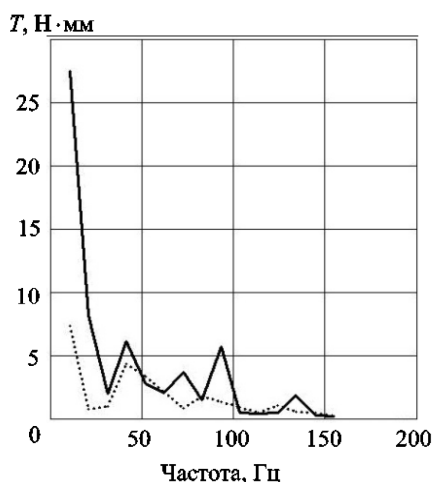


Рис. 3. Зависимость момента трения в подшипниках от частоты колебаний:
 сплошная линия — для изношенных подшипников; пунктирная линия — для новых подшипников

На рис. 4 показан спектр виброускорений подшипников № 105. Видно, что на частоте вращения сепаратора (9,51 Гц), на частоте перекатывания тел качения по наружному кольцу (105 Гц) и особенно на ее боковых гармониках (82,14 и 127 Гц) вибрация изношенных подшипников возрастает.

В результате неравномерного изнашивания поверхности качения в местах наибольшего отклонения от первоначальной формы она имеет повышенную шероховатость.

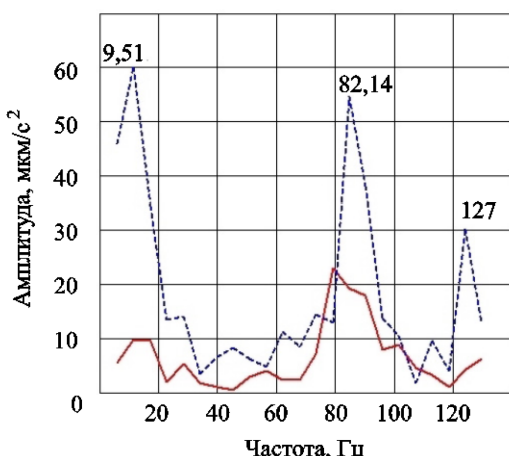


Рис. 4. Спектр виброускорений подшипников: сплошная линия — новых; пунктирная линия — изношенных в низком диапазоне частот

При прокатывании по такой поверхности тел качения изменяется сила трения и, следовательно, появляется модуляция высокочастотной случайной вибрации подшипника теми же частотами, на которых растет низкочастотная вибрация при плавном изменении формы поверхностей качения, т. е. в пределах поля допуска [5]. Кроме того, в связи с попаданием в смазочный материал продуктов изнашивания, его качество ухудшается, что приводит к изменению характеристик высокочастотной вибрации подшипника.

На рис. 5 показан спектр виброперемещений новых и изношенных подшипников (диапазон частот свыше 3 кГц). Мощность спектра у изношенных подшипников на порядок выше.

Неравномерный износ поверхностей качения колец и тел качения ведет к возрастанию момента трения в подшипнике, низкочастотной подшипниковой вибрации и возбуждению высокочастотной вибрации за счет модуляции сил трения.

В большинстве методов диагностирования предусмотрена установка вибродатчиков поперечных колебаний на наружной обойме подшипника или в непосредственной близости от нее. Однако установить такой датчик непосредственно на наружной обойме подшип-

ника практически невозможно, его устанавливают на корпусе механизма. В связи с этим датчик воспринимает суммарный сигнал от всех источников, в том числе и не относящихся к вибродиагностике. В работе [6] рассмотрены вопросы обнаружения изнашивания подшипников качения с использованием различных методов анализа вибросигналов с датчика поперечных колебаний (акселерометра). Отмечено, что такой сигнал содержит большую шумовую составляющую, вызванную причинами, не связанными с изнашиванием подшипника. Такими причинами являются угловое и осевое смещения, дисбаланс вала, электрические помехи, погрешность установки датчика, колебания крутящего момента [7].

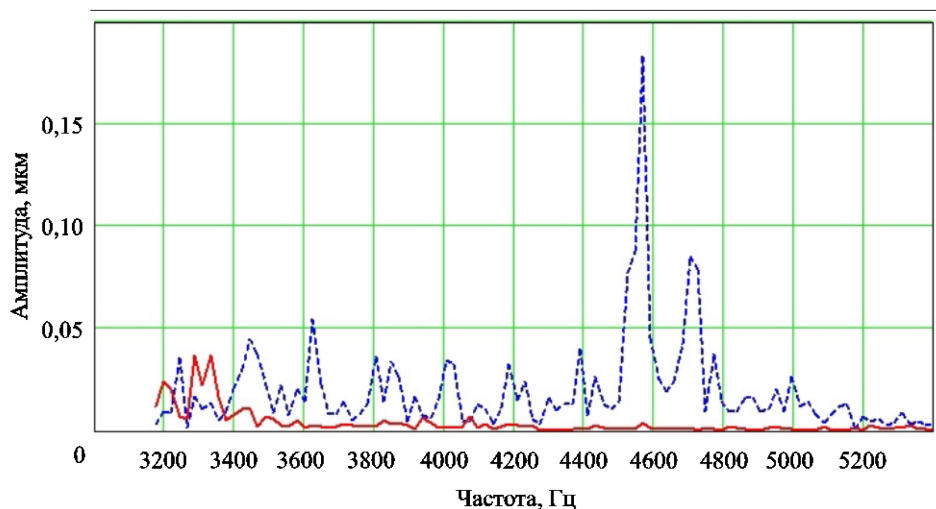


Рис. 5. Спектр виброперемещений подшипников:

сплошная линия — новых; пунктирная линия — изношенных в высоком диапазоне частот

В настоящей работе предлагается для диагностики подшипниковых узлов механизмов роторного типа использовать информацию о крутильной составляющей вибрации, снимаемой датчиком угловых перемещений (ДУП) [8, 9]. ДУП соединяется с валом, установленным в испытуемых подшипниках, например с валом редуктора. Такой вибросигнал практически не содержит шумовую составляющую, поскольку ДУП не реагирует на вибрации корпуса и других посторонних механизмов, установленных поблизости.

На рис. 6 показан вибросигнал, снятый с ДУП, соединенного с тихоходным валом червячного редуктора [10]. В вибросигнале присутствуют гармоники подшипниковых частот: низкооборотных подшипников вала червячного колеса и высокооборотных подшипников вала червяка. Видно, что амплитуда вибросигнала $\Delta\varphi$ изношенных подшипников практически во всем диапазоне частот выше.

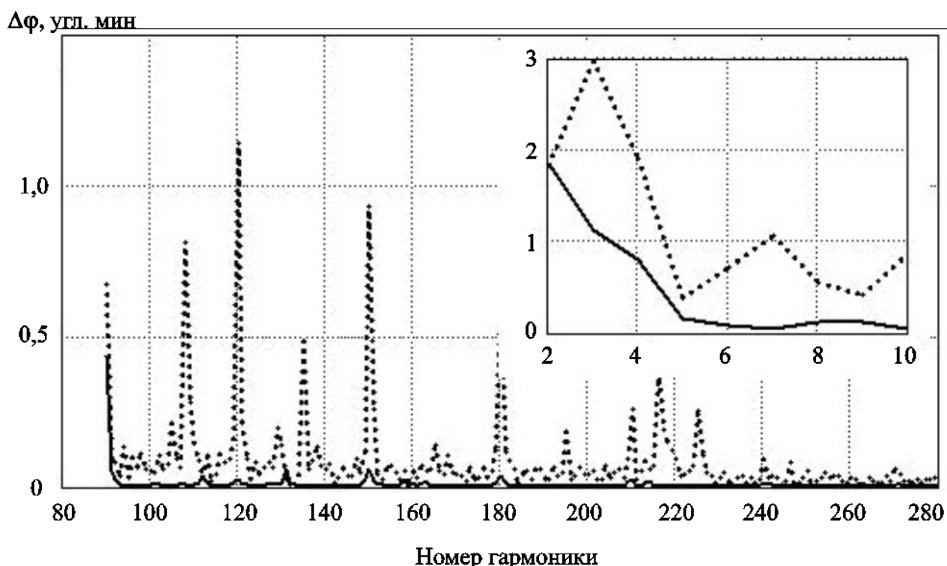


Рис. 6. Вибросигнал с ДУП:

сплошная линия — для валов на новых подшипниках; пунктирная линия — для валов на изношенных подшипниках

На рис. 7 показан спектр крутильной составляющей вибраций, снятый ДУП того же червячного редуктора, для новых и изношенных подшипников в высоком диапазоне частот.

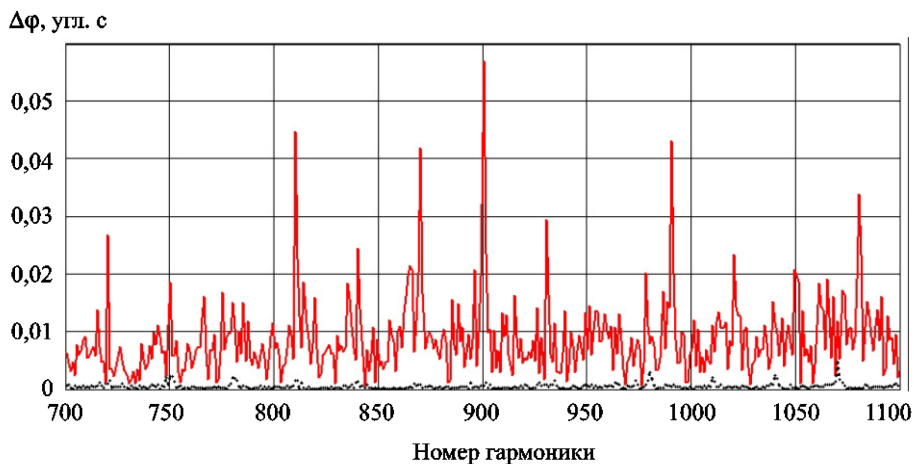


Рис. 7. Спектр крутильной составляющей вибрации подшипников:

черная линия — новых; красная линия — изношенных в высоком диапазоне частот

В высокочастотном диапазоне в результате увеличенных зазоров в контролируемых подшипниках возникают множественные гармоники оборотной частоты тихоходного вала.

Диагностическое заключение о техническом состоянии такого подшипника качества однозначно — его следует заменить в ближай-

шее время, поскольку вероятность возникновения аварийной ситуации с контролируемым оборудованием очень велика.

Таким образом, в работе показано, что для диагностики технического состояния подшипников качения в механизмах роторного типа можно использовать вибросигналы с датчика угловых перемещений. Такой сигнал практически не имеет шумовую компоненту, что значительно упрощает его анализ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Захаров М.Н., Саркисов А.С., Шварц Т.Г. Коммерческая эффективность диагностики технического состояния систем МТ. *Газовая промышленность*, 2006, № 2, с. 62–65.
- [2] Фирсов А.В., Посадов В.В. Диагностика дефектов подшипников качения при стендовой доводке малоразмерного высокооборотного газотурбинного двигателя с помощью спектрального анализа вибрации. *Контроль. Диагностика*, 2013, № 7, с. 44–51.
- [3] Костюков В.Н., Костюков Ал.В. Мониторинг состояния оборудования в реальном времени. *Контроль. Диагностика*, 2010, № 3, с. 48.
- [4] Nawale S.S., Kulkarni P.D. Vibration Analysis of Ball Bearing Considering Effect of Contaminant in Lubricant. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2017, vol. 8, iss. 4. URL: <http://www.ijser.org> (дата обращения 21.08.2017).
- [5] Lynn D. Выявление дефектов подшипников качения с помощью анализа вибрации. URL: http://www.vibration.ru/v_defekt.shtml (дата обращения 21.08.2017).
- [6] Koulocheris D., Stathis A., Costopoulos Th., Atsas A. Wear and multiple fault diagnosis on rolling bearings using vibration signal analysis. *International Journal of Engineering Science Invention*, 2014, vol. 3, iss. 4, pp. 11–19.
- [7] Halminen O., Aceituno J.F., Escalona J.L., Sopenan J., Mikkola A. A touch-down bearing with surface waviness: Friction loss analysis. *Mechanism and Machine Theory*, 2017, vol. 110, pp. 73–84.
- [8] Андриенко Л.А. Экспериментальное определение влияния изнашивания на динамические характеристики подшипников качения. *Актуальные задачи машиноведения, деталей машин и триботехники: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф.* Санкт-Петербург, 2010, с. 224–227.
- [9] Андриенко Л.А., Вязников В.А. Влияние подшипников на точность вращения зубчатых передач. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2012, Спец. вып. Фундаментальные проблемы создания и поддержки высокотехнологичных производств, с. 5–7.
- [10] Андриенко Л.А., Вязников В.А. Влияние изнашивания на динамические нагрузки в червячной передаче. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2011, № 9, с. 18–22.

Статья поступила в редакцию 23.05.2017

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Андриенко Л.А., Сазонов В.А. Оценка изменения технического состояния подшипников качения в результате изнашивания. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2017, вып. 9. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-9-1680>

Андриенко Людмила Анатольевна — д-р техн. наук, профессор кафедры «Основы конструирования машин» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов — машиностроение. e-mail: la-andr2017@yandex.ru

Сазонов Владимир Александрович — магистрант кафедры «Основы конструирования машин» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов — машиностроение.

Assessment of changes in the rolling bearing technical state as a result of wear

© L.A. Andrienko, V.A. Sazonov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

The article considers problems of vibration diagnostics of bearing assembly wear using the traditional transverse vibration sensors, as well as the angular displacement sensor, i.e., by the torsional component of vibrations. It is shown that the bearing frequencies in the vibration signal spectra obtained from the angular displacement sensor, as well as the changes in the amplitude-frequency composition of the defective bearing vibration signal associated with wear are clearly seen. It is proposed to use angular displacement sensors, along with other methods of defect diagnostics in bearing assemblies, which simplifies the analysis of the vibration signal. The problem was solved on the basis of experimental data obtained at the stand in the laboratory of the Department of Principles of Machine Design, Bauman Moscow State Technical University.

Keywords: rolling bearings, wear, vibration, diagnostics, experimental research

REFERENCES

- [1] Zakharov M.N., Sarkisov A.S., Shvarts T.G. *Gazovaya promyshlennost — Gas Industry of Russia*, 2006, no. 2, pp. 62–65.
- [2] Firsov A.V., Posadov V.V. *Kontrol. Diagnostika — Testing. Diagnostics*, 2013, no. 7, pp. 44–51.
- [3] Kostukov V.N., Kostukov A.V. *Kontrol. Diagnostika — Testing. Diagnostics*, 2010, no. 3, p. 48.
- [4] Nawale S.S., Kulkarni P.D. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2017, vol. 8, no. 4. Available at: <http://www.ijser.org> (accessed August 21, 2017).
- [5] Lynn D. *Vyyavlenie defektov podshipnikov kacheniya s pomoshchyu analiza vibratsii* [Detection of rolling bearing defects by means of vibration analysis]. Available at: http://www.vibration.ru/v_defekt.shtml (accessed August 21, 2017).
- [6] Koulocheris D., Stathis A., Costopoulos Th., Atsas A. *International Journal of Engineering Science Invention*, 2014, vol. 3, no. 4, pp. 11–19.
- [7] Halminen O., Aceituno J.F., Escalona J.L., Sopanen J., Mikkola A. *Mechanism and Machine Theory*, 2017, vol. 110, pp. 73–84.
- [8] Andrienko L.A. Eksperimentalnoe opredelenie vliyaniya iznashivaniya na dinamicheskie kharakteristiki podshipnikov kacheniya [Experimental determining the effect of wear on the rolling bearing dynamic characteristics]. *Trudy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii “Aktualnye zadachi mashinovedeniya, detaley mashin i tribotekhniki. 27–28 aprelya 2010 g. Sankt Petersburg* [Proceedings of the international scientific-technical conference “Actual problems of engineering science, machine parts and tribotechnics”. April 27–28, 2010. St. Petersburg]. St. Petersburg, Baltiyskiy gosudarstvennyy universitet Publ., 2010, pp. 224–227.
- [9] Andrienko L.A., Vyaznikov V.A. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie — Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2012, spets. vypusk: *Fundamentalnye problemy sozdaniya i*

podderzhki vysokotekhnologichnykh proizvodstv [Special issue: Fundamental problems of creating and supporting high-tech industries], pp. 5–7.

- [10] Andrienko L.A., Vyaznikov V.A. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie — Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2011, no. 9, pp. 18–22.

Andrienko L.A., Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Principles of Machine Design, Bauman Moscow State Technical University. Research interests: mechanical engineering. e-mail: la-andr2017@yandex.ru

Sazonov V.A., graduate student, Department of Principles of Machine Design, Bauman Moscow State Technical University. Research interests: mechanical engineering.