

духа / Д. Н. Козлов, А. Н. Кузнецов, И. И. Турковский // Гигиена и санитария. – 2003 – № 1. – С. 45–47.

10. **Эколого-гигиенические** аспекты оценки условий труда в строительной отрасли / А. В. Леванчук, З. Ш. Турсунов // Материалы III международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 1–2 июня 2012. – СПб. ; Петрозаводск : ПетроПресс, 2012. – С. 97–100.

11. **О санитарно-гигиенической** безопасности минеральной ваты / А. Н. Земцов // Стены и фасады. – 2001. – № 4. – С. 28–32.

12. **Минераловатные** материалы на основе природного и техногенного сырья Сибирского и Дальневосточного регионов : дис. ... д-ра техн. наук / В. В. Коледин. – Новосибирск, 2000. – 345 с.

13. **Минеральная вата** – свойства и характеристики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rmnt.ru/story/isolation/351113.htm> (дата обращения: 18.03.2012).

14. **Строительная** теплоизоляция и энергосбережение / А. Н. Земцов, И. Л. Николаева // Стены и фасады. – 2001. – № 5–6. – С. 32–36.

УДК 621.313.33

**О. Р. Хамидов**

Петербургский государственный университет путей сообщения

## **ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

Дан анализ результатов применения нового подхода к оценке дефектов подшипников качения посредством математического моделирования трещины в кольцах подшипника, представлена расчетная зависимость силы удара от скорости. Предложенный подход может быть использован для оценки состояния локомотивных тяговых электродвигателей.

дефект роликового подшипника, тяговые асинхронные двигатели, вибрация.

### **Введение**

Высокая прочность и надежность узлов и агрегатов являются необходимыми факторами, позволяющими обеспечить безопасность эксплуатации различных изделий и технических устройств ответственного назначения объектов железнодорожного транспорта.

Подшипниковые узлы тягового подвижного состава, устанавливаемые на осях и валах, являются важнейшими конструктивными элементами, от технического состояния которых в значительной степени зависит безопасность движения.

Единственным действенным решением проблемы увеличения времени бесперебойной эксплуатации является внедрение совре-

менного метода обслуживания по техническому состоянию, при котором безразборный контроль параметров состояния основного оборудования обеспечивает проведение ремонта только в случае необходимости.

Описание технического состояния оборудования локомотивов может осуществляться путем измерения, анализа и контроля характеристик вибраций, возникающих в процессе работы любых узлов и агрегатов, поскольку ухудшение их состояния (при возникновении неисправности подшипника) сопровождается увеличением уровня вибраций.

Обеспечение надежности эксплуатации подшипниковых узлов и зубчатых передач является одной из основных задач системы ремонта подвижного состава железных до-

рог, их отказы могут привести к сходу подвижного состава и, как следствие, к крушению или аварии.

В связи с изложенным возникает необходимость систематического контроля за состоянием подшипниковых узлов. Однако производить периодическое их вскрытие для осмотра, демонтировать блоки и машины для ревизии нецелесообразно, т. к. это увеличивает трудоемкость и стоимость ремонта, увеличивает время простоя локомотива, тем самым снижая его производительность. Периодический контроль состояния всех элементов подшипникового узла целесообразно выполнять без демонтажа и вскрытия путем безразборной диагностики.

Одним из основных путей повышения эффективности работы локомотивного хозяйства в настоящее время является создание высокоорганизованной системы технического обслуживания и ремонта локомотивного оборудования, в частности электрических машин. Из имеющихся статистических данных установлены перечень и частота возникновения дефектов и неисправностей локомотивных тяговых электродвигателей и определен наиболее слабый элемент – подшипники, ограничивающие их надежность [1].

### **1 Определение силы ударного воздействия ролика (шарика) подшипника на наружное кольцо в зоне трещины**

Однотипность наблюдаемых эксплуатационных дефектов и неисправностей локомотивных электродвигателей обуславливает возможность построения общей диагностической модели и, следовательно, общей системы технической диагностики электродвигателей. Необходимым условием функционирования такой системы является наличие своевременной и объективной информации о фактическом техническом состоянии эксплуатируемых электрических машин, что может быть достигнуто только применением современных методов технической диагностики.

Для этой цели активно используется вибрационные методы диагностирования оборудования. В ряде случаев определение состояния отработанными вибрационными методами невозможно, например при трудности доступности оборудования [2].

Подшипниковые узлы тяговых электродвигателей локомотивов в отличие от стационарных машин и механизмов эксплуатируются в неблагоприятных условиях: значительные осевые и радиальные нагрузки, воздействие электромагнитных и электростатических полей, высокая частота вращения, постоянно изменяющиеся климатические условия и др. При этом они должны сохранять свои эксплуатационные параметры и свойства согласно требованиям нормативно-технической документации, весь назначенный срок службы обеспечивая высокую надежность и работоспособность даже при критических режимах эксплуатации [3].

Немалая роль в обеспечении надежной эксплуатации локомотивного парка принадлежит узлам с подшипниками качения, от работы которых напрямую зависят перевозочный процесс и показатели работы транспорта.

Поэтому техническое состояние подшипниковых узлов, применяемых на подвижном составе, является важнейшей составляющей, определяющей работоспособность локомотива целом.

Мы рассматриваем специальные роликовые радиальные подшипники с короткими цилиндрическими роликами, которые используются в асинхронных тяговых электродвигателях [4].

Из числа дефектов изготовления подшипников качения необходимо выделить следующие: неровности поверхностей беговых дорожек, неровности поверхностей тел качения, размерность тел качения и искажение формы сепаратора.

В процессе эксплуатации дополнительно появляются следующие дефекты: усталостные выкрашивания на поверхностях качения колец и роликах (шариках); трещины и изломы деталей подшипника; вмятины и задиры на кольцах, роликах (шариках); перегрев деталей – синие, фиолетовые цвета по-

бежалости на кольцах, роликах и шариках; сплошной след ожога электротоком; коррозия; износ сепаратора и др. [5].

На рисунках 1 и 2 приведены фотографии одного из типовых поврежденных подшипников – трещины наружного и внутреннего кольца. Данный дефект приводит к появлению дополнительных динамических нагрузок на отдельные элементы тягового электродвигателя. Это может привести к появлению других неисправностей. Рассмотрим подробнее процесс перекатывания роликов в зоне трещины кольца подшипника.

В целях оценки уровня сил динамического воздействия при проходе ролика в зоне трещины произведем расчет силы удара.

Большинство повреждений подшипников может имитироваться в математической мо-

дели в виде периодических импульсных воздействий. В виде таких воздействий могут моделироваться трещины в кольцах, роликах и сепараторах, раковины, следы электроожогов и другие.

Для вычисления ударного воздействия ролика (шарика) подшипника на наружное кольцо в зоне трещины принимаем следующую схему (рис. 3).

При приближении ролика (шарика) к стыковому зазору (в зоне трещины) наступает момент, когда он, совершая вращение около некоторого центра  $A$ , вступает в соприкосновение с точкой  $B$  следующей части кольца подшипника и, покидая точку  $A$ , начинает мгновенное вращение вокруг нового центра  $B$ , причем на всем ролике (шарике) происходит внезапное перераспределение скоростей

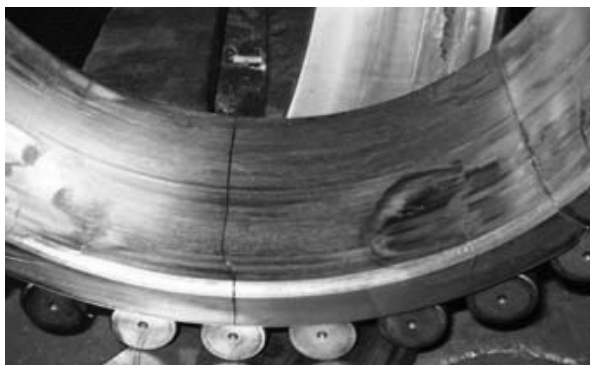


Рис. 1. Трещина внутреннего кольца роликового подшипника



Рис. 2. Трещина наружного кольца подшипника качения

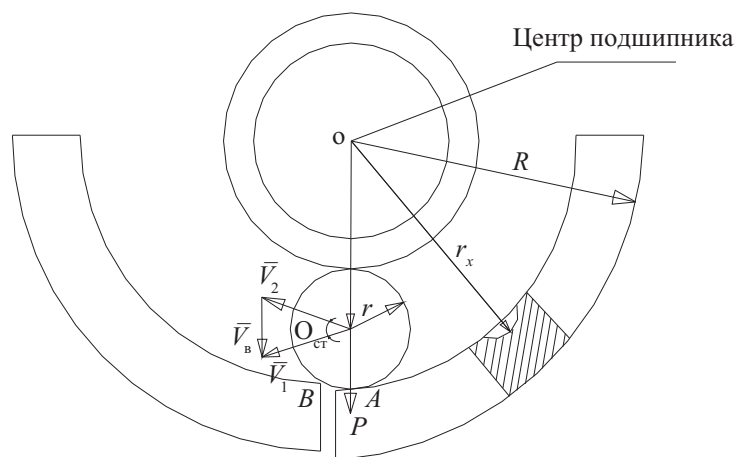


Рис. 3. Расчетная схема определения ударного воздействия в зоне трещины

соответственно переходу центра мгновенного вращения скачком из точки  $A$  в точку  $B$ .

Внезапное изменение центра вращения является типичным признаком удара и сопровождается возникновением ударных сил.

Для определения величины силы ударного взаимодействия между роликом и трещиной наружного кольца подшипника используем теорему об изменении количества движения, применив ее к вычислению ударного импульса, действующего на ролик (шарик):

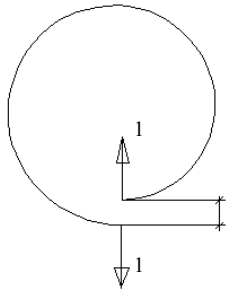
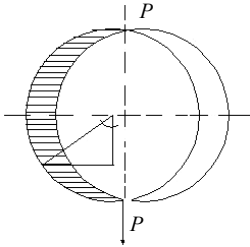
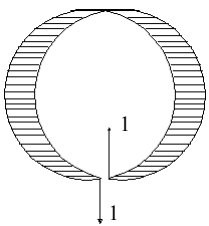
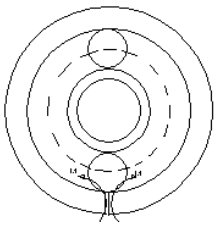
$$Q^+ - Q^- = S, \quad (1)$$

где  $Q^+$  – количество движения до удара;  $Q^-$  – количество движения после удара;  $S = 2Mv\theta$  – ударный импульс за время удара;  $v$  – мгновенная скорость перемещения;  $\theta$  – угол перекоса.

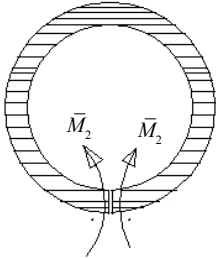
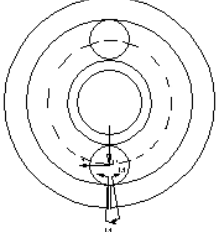
## 2 Определение перемещений по формуле Мора

Для определения перемещений используем разные эпюры моментов от статической нагрузки и рассчитаем их в зависимости от силы и моментов.

ТАБЛИЦА. Эпюры моментов  $M$  от статической нагрузки и формулы для их определения

Эпюра моментов $M$	Формула
	$dS = R d\varphi$
	$M_p = P \cdot R \cdot \sin \varphi$
	$M_1 = R \cdot \sin \varphi$
	$\theta = \int_0^\pi \frac{M_p \cdot M_2}{EJ_x} R d\varphi$

Окончание таблицы

Эпюра моментов $M$	Формула
	$\delta_{11} = (M_p \cdot M_1) = R^3 \cdot P \cdot \int_0^\pi \sin^2 \varphi d\varphi = \frac{\pi \cdot R^3}{E \cdot J}$
	$\theta = \frac{RP}{EJ} \cdot \int_0^\pi \sin \varphi d\varphi = \frac{2PR^2}{EJ}$

Между прогибом  $Y$  и силой устанавливается линейная зависимость, которая может быть выражена при замене  $P$  величиной мгновенной силы

$$F = c \cdot y, \quad (2)$$

где

$$c = \frac{1}{\delta_{11}} = \frac{E \cdot J}{\pi \cdot R^3}; \quad (2.1)$$

$$y = \frac{M_p \cdot M_1}{E \cdot J} = \delta_{11} \cdot F; \quad (2.2)$$

$$\delta_{11} = \frac{\pi \cdot R^3}{E \cdot J}. \quad (2.3)$$

Потенциальная энергия упругой деформации  $V$  выражается:

$$V = \frac{c \cdot y^2}{2}; \quad (3)$$

$$y = D \cdot F. \quad (3.1)$$

Выражаем кинетическую энергию, переходящую в потенциальную, через ударный импульс:

$$K = \frac{S^2}{2M} = 2M \cdot (v \cdot \theta)^2. \quad (4)$$

Здесь  $v$  – скорость перемещения;  $\theta$  – угол перекося;  $M$  – масса подшипника.

Подставляя найденные выражения  $V$  и  $K$  в уравнение  $V = K$ , получим выражение для приближенного вычисления ударной силы при прохождении шарика в зоне трещины при данной скорости:

$$\frac{C \cdot D^2 \cdot F^2}{2} = 2M \cdot (v \cdot \theta)^2; \quad (5)$$

$$F = \sqrt{\frac{4 \cdot M \cdot (v \cdot \theta)^2}{c \cdot D^2}} = \frac{2 \cdot v \cdot \theta}{D} \sqrt{\frac{M}{c}}. \quad (6)$$

На рисунке 4 представлена расчетная зависимость силы удара как функции линейной скорости перемещения роликов подшипника.

### Заключение

Сила удара оказывается линейно зависимой от вертикальной составляющей относительной скорости соударения в зоне трещины.

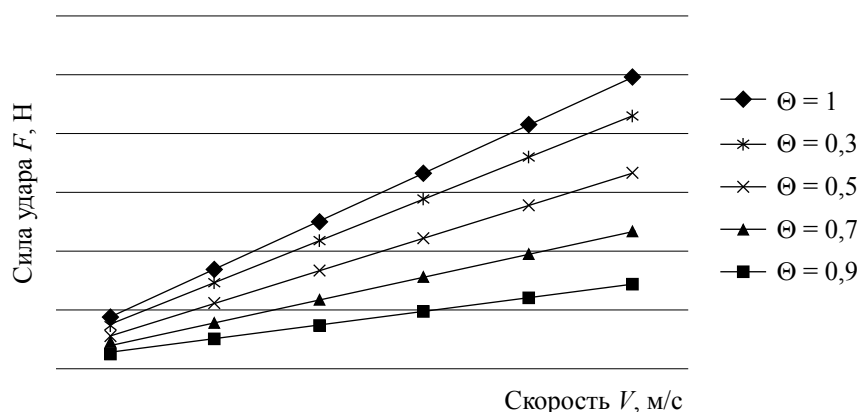


Рис. 4. График зависимости силы удара  $F$ , Н, от скорости  $V$ , м/с

Поэтому своевременное выявление и предотвращение развития дефектов подшипников является определяющим мероприятием технического обслуживания подвижного состава. Исследования, направленные на повышение достоверности определения неисправностей подшипников асинхронных тяговых электродвигателей, являются актуальными, так как позволяют практически безошибочно отбраковывать подшипники при промежуточных ревизиях электродвигателей локомотивов без их демонтажа. Это повышает безопасность движения поездов и снижает трудоемкость промежуточных ревизий электродвигателей.

#### Библиографический список

1. **Динамические** силы в асинхронном тяговом приводе магистральных электровозов /

Ю. А. Бахвалов, Г. А. Бузало, А. А. Зарифьян и др. — М. : Маршрут, 2006. — 374 с.

2. **Мониторинг** и диагностика роторных машин по вибрации / А. В. Барков, Н. А. Баркова, А. Ю. Азовцев. — СПб. : Изд. центр СПбГМТУ, 2000. — 159 с.

3. **Изгибающий** момент в рельсовом стыке / А. М. Годыцкий-Цвирко // Труды ЛИИЖТа. — Вып. 137. — М. : Трансжелдориздат, 1948. — 207 с.

4. **Новые** электрические машины локомотивов / А. В. Грищенко, Е. В. Козаченко. — М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2008. — 271 с.

5. **Акустико-эмиссионный** контроль технического состояния подшипниковых узлов локомотивов / Д. В. Федоров, В. С. Потапенко // В мире неразрушающего контроля. — 2003. — № 3 (21). — С. 78–80.