**ИССЛЕДОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ**

Отказы в работе узлов и агрегатов подвижного состава происходят из-за износа сопряжений, проявления усталости материала, нагружений, превосходящих пределы прочности, старения и ряда других факторов, сопровождающих эксплуатацию. Локомотив – сложная машина с множеством взаимно перемещающихся и трущихся деталей, которые в процессе эксплуатации изнашиваются. Несоблюдение правил технической эксплуатации и действующего режима технического обслуживания и ремонта способствует ускоренному воздействию и проявлению этих факторов. Несвоевременное проведение профилактических мер, заключающихся в заблаговременной ликвидации предельных зазоров в сопряжениях, выполнении необходимых регулировок, регулярном контроле прочности крепления узлов и деталей, своевременной смене масла или его доливки, предупредительной замене деталей, выработавших свой ресурс, существенно снижает надежность функционирования узлов и агрегатов.

Вибрационная диагностика − метод диагностирования технических систем и оборудования, основанный на анализе параметров вибрации, либо создаваемой работающим оборудованием, либо являющейся вторичной вибрацией, обусловленной структурой исследуемого объекта.

Вибродиагностические комплексы для выявления опасных дефектов и неисправностей тягового подвижного состава начали внедряться на железнодорожном транспорте с начала 90-х годов. Перед вибродиагностикой были поставлены следующие основные задачи:

1. обнаружение дефектов с большей достоверностью, чем это делал персонал, основываясь на давно сложившихся технологиях и подходах (т.е. объективная оценка состояния ТПС, исключающая субъективные факторы);
2. выявление зарождающихся дефектов и прогнозирование их развития;
3. оптимизация ремонтного цикла с точки зрения обеспечения жизненного цикла ТПС.

Установлено, что основными источниками внезапных усталостных повреждений рельс, бандажей колесных пар, силовых деталей локомотивов и других изделий является наличие зон концентрации внутренних напряжений металла (зон КН), обусловленных технологией изготовления. На заводах-изготовителях рельс и колесных пар в настоящее время отсутствуют эффективные методики и средства контроля технологических дефектов изготовления и остаточных напряжений.

Традиционные методы и средства эксплуатационного контроля (магнитопорошковые и ультразвуковые дефектоскопы) позволяют выявлять уже развитые дефекты. Эти средства контроля не обеспечивают диагностики рельс и колесных пар на стадии предразрушения и поэтому не могут гарантировать безопасность движения на железных дорогах. Используемые при эксплуатационном контроле магнитные вагон-дефектоскопы основаны на считывании магнитных полей рассеяния, образующихся в зоне расположения развитого дефекта при искусственном намагничивании рельса постоянным магнитным полем.

По этапам проведения работ измерения делятся на основные и дополнительные. Все измерения должны проводиться при положительной температуре подшипников. Основные измерения должны проводиться до добавления смазки в подшипники качения объектов диагностирования. Дополнительные измерения должны проводиться по результатам обработки основных измерений в следующих случаях: для подшипников, по которым необходимо уточнить наличие и степень развития дефекта. Данные измерения проводятся с вращением диагностируемого объекта в сторону противоположного направления относительно основных измерений;  для подшипников, в которые была добавлена смазка по результатам диагностирования. Данные работы проводятся с целью подтверждения попадания смазки в подшипник и отсутствия других опасных дефектов.

Измерения вибрации должны производиться на корпусе каждого подшипникового узла в его нагруженной зоне, в вертикальном радиальном направлении (с отклонением от вертикали не более 30о) при стабильной скорости вращения. Измерения проводить после предварительной приработки объекта диагностирования в течение 2÷3 минут для приработки смазочного слоя в подшипнике.

Для всех объектов диагностирования одного типа точки и направления измерения вибрации должны совпадать.

Задачей вибрационного диагностирования подшипников качения по данным измерений параметров вибрации каждого из подшипниковых узлов является обнаружение диагностических признаков дефектов и оценка величины каждого из диагностических параметров потенциально опасных типовых дефектов с последующим определением соответствия безаварийного ресурса подшипника его наработки (пробега) до проведения следующего вибрационного диагностирования. Для этого должен использоваться алгоритм сравнения каждого из диагностических параметров с тремя пороговыми значениями. Первый определяет зону безопасного состояния, второй – зону слабого дефекта, третий – зону среднего дефекта. Выход диагностического параметра за зону среднего дефекта означает появление сильного (опасного) дефекта.

Для обнаружения каждого из типовых дефектов должно использоваться несколько признаков его появления на основе разных физических явлений, при этом хотя бы один из используемых признаков должен быть чувствителен к появлению зарождающегося дефекта. В качестве одного из признаков для конкретного вида возможного дефекта допускается использовать отсутствие признаков других видов дефектов.

Признаки типовых дефектов подшипников делятся на три основные группы: определяемые ростом низкочастотной (от 2 до 1000 Гц) вибрации в целом, в которой диагностическими параметрами являются величины и количество подшипниковых и комбинационных гармонических составляющих вибрации, а также спектральная плотность (уровень фона) случайных составляющих; определяемые модуляцией среднечастотной или высокочастотной (1÷15 кГц) случайной вибрации подшипникового узла, в которых диагностическими параметрами являются глубина модуляции вибрации подшипниковых частот, их гармоник и комбинационные частоты; определяемые высокочастотной и ультразвуковой вибрацией подшипников, возбуждаемой периодическими и непериодическими ударами в подшипниках, зубчатых зацеплениях, муфтах, карданных соединениях, в которых диагностическими параметрами являются уровень и пиковые значения вибрации на высоких (выше 10 кГц) и ультразвуковых частотах, а также глубина импульсной модуляции случайных составляющих вибрации (пик-фактор), или уровнем среднеквадратичного значения и значением эксцесса сигнала вибрации измеренного в полосе от 5 до 15000 Гц [1].

Параллельно признакам дефектов подшипников должно контролироваться появление признаков влияющих на вибрацию дефектов других узлов объекта диагностирования. К таким узлам относятся неуравновешенная колесная пара или ротор тягового электродвигателя (ТЭД), зубчатые зацепления, моторно-осевые подшипники скольжения, упорные буксовые подшипники скольжения, муфты, используемый для вращения колесной пары колесно-моторного блока (КМБ) привод и др. По результатам обнаружения диагностических признаков возможных дефектов и сравнения измеренных параметров с пороговыми значениями определяется текущее состояние подшипника и его долгосрочный прогноз. Максимальную длительность прогноза безаварийной работы подшипника обеспечивает отсутствие как развитых, так и зарождающихся дефектов, а также нахождение вибрационного состояния подшипникового узла в зоне допустимых значений.

 Ответственность за допуск в эксплуатацию подшипника, в котором обнаружены зарождающиеся или развитые дефекты, несет инженер, отвечающий за результаты диагностирования.

С целью обеспечения надежного прохождения вибрационного сигнала от диагностируемых подшипников качения, измерения необходимо проводить при соблюдении следующих условий: при плюсовой температуре подшипниковых узлов и перед добавлением в них смазки; допускается проводить измерения при отрицательной температуре подшипниковых узлов при условии предварительной обкатки диагностируемого узла для приработки масляного слоя в подшипнике не менее 5 минут. С целью исключения повышенной вибрации от тягового редуктора перед проведением измерений необходимо проверить уровень смазки в кожухах тяговых редукторов и при необходимости провести ее добавление до требуемого уровня; для исключения влияния на результаты измерений вибрации соседнего КМБ измерения необходимо проводить при работе одного КМБ в тележке локомотива. Допускается проводить параллельные измерения с двух и более КМБ если они находятся в составе разных тележек локомотива. С целью получения наиболее полной диагностической информации измерения необходимо начинать после приработки масляного слоя в подшипниках качения и стабилизации частоты вращения через 2÷3 минуты после начала работы КМБ [2].

Основными задачами инженера-диагноста при анализе результатов автоматического мониторинга и диагностирования каждого подшипникового узла является уточнение вида и величины каждого из автоматически обнаруженных идентифицированных и неидентифицированных средних и сильных дефектов с учетом информации, полученной по результатам диагностических измерений, а также имеющейся дополнительной информации.

Окончательный диагноз, определяющий состояние каждого подшипникового узла объекта диагностирования, формирует инженер-диагност по следующим результатам: автоматического мониторинга (сравнения уровней широкополосных и гармонических составляющих вибрации с порогами «предупреждение» и «опасность»); автоматического диагностирования (сравнения отклонений используемых диагностических параметров от средних значений с порогами слабого, среднего и сильного дефектов); анализа дополнительной информации, в том числе полученной в результате дополнительных обследований, имеющейся в распоряжении инженера.

Окончательный диагноз определяет принадлежность подшипникового узла к одному из следующих классов состояния: I класс − узлы, не имеющие каких-либо развивающихся дефектов; II класс − узлы с наличием дефектов, не представляющих угрозы для безаварийной эксплуатации КМБ, ТЭД в период до очередного планового диагностирования, данные узлы должны находиться на контроле у инженера; III класс − узлы, работающие в условиях повышенной опасности, для устранения которой необходим ремонт или замена диагностируемого узла (объекта диагностирования).

Стоит отметить, что интенсивное развитие метода в последние годы связано с удешевлением электронных вычислительных средств и упрощением анализа вибрационных сигналов. Вибродиагностический контроль имеет целый ряд преимуществ, таких как:

1. метод позволяет находить скрытые дефекты;
2. метод, как правило, не требует сборки-разборки оборудования;
3. малое время диагностирования;
4. возможность обнаружения неисправностей на этапе их зарождения;
5. снижение ожидаемого риска возникновения аварийной ситуации при эксплуатации оборудования.

Приходим к выводу, что для обеспечения необходимой точности расчета остаточного ресурса и даты проведения ремонта в расчетах необходимо применение математических моделей с порядком не ниже третьего - четвертого. Если вспомнить, что один подшипник описывается не менее, чем десятком математических моделей, то становятся представимыми те математические затраты, необходимые для корректного прогнозирования параметров эксплуатации подшипника качения. А таких подшипников на предприятии в работе может одновременно находиться в работе несколько тысяч [3].

Процедура контроля состояния многих подшипников на предприятии становится возможной только при использовании компьютеров, в которых создаются и работают базы данных по подшипникам и современные экспертные системы диагностики[2].

В заключении стоит отметить, что вибродиагностический контроль позволяет не просто выявить дефекты, но и предупредить их появление, спрогнозировать остаточный ресурс объекта контроля, что, в свою очередь, позволит снизить риск выхода из строя деталей подвижного состава в пути следования, а также снизить количество внеплановых ремонтов.

Библиографический список:

1. <http://stroy-technics.ru/article/vosstanovlenie-detalei-naplavkoi>.
2. <https://refdb.ru/look/1204716-p9.html>
3. <http://tutmet.ru/vosstanovlenie-uprochnenie-detalej-valov-svarkoj-naplavkoj.html>.

**Патрин Вячеслав Вячеславович, студент 3 курса**

**Голыжбин Виталий Анатольевич, преподаватель**

**Тайгинский институт железнодорожного транспорта - филиал ФГБОУ ВО "Омский государственный университет путей сообщения"**