



ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ УЗЛОВ ПОДВИЖНОГО ТЯГОВОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СОСТАВА

К. Ф. БОРЯК, С. Л. ВОЛКОВ, Е. С. ШПАТ

Одесская гос. акад. техн. регулирования и качества. 65020, г. Одесса, ул. Кузнечная, 15. E-mail: ndi_pssem@mail.ru

Приводятся результаты анализа существующих диагностических систем, которые внедрены на предприятиях железнодорожного транспорта. Отмечены недостатки систем. Обосновывается новая концепция создания системы мониторинга для диагностики технического состояния главных механических узлов железнодорожного транспорта. Показано, что в концепции главным параметром для определения момента наступления предельного состояния является числовое значение температуры или градиента скорости нагрева объекта. Библиогр. 7.

Ключевые слова: диагностика, система мониторинга, техническое состояние, деградационный процесс, техническое обслуживание

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. На предприятиях по обслуживанию и ремонту железнодорожного транспорта уже давно применяются вибродиагностические комплексы, где в качестве определяющего параметра служит уровень вибрации, который нормируется по частоте, периоду, амплитуде колебаний и измеряется датчиками виброскорости или виброускорения [1]. Любой вибродиагностический комплекс базируется на свойстве механического объекта изменять свою собственную частоту колебаний в зависимости от степени износа конструктивных деталей вследствие развивающихся во времени деградационных процессов. По мере приближения значения собственной частоты объекта к значению рабочей частоты уровень вибрации увеличивается, а при их совпадении возникает явление резонанса. Задача вибрационного мониторинга — предупреждение возникновения резонансных явлений за счет проведения своевременного технического обслуживания (ТО), текущего (ТР) или капитального ремонтов (КР) с заменой конструктивных узлов.

Анализ исследований и публикаций. Известны примеры организации мониторинга за изменением деградационных процессов в отдельно взятых механических узлах, в основе которого лежат те же виброакустические измерения [2]. В этом направлении за последние два десятилетия создано множество измерительных комплексов, которые в той или иной мере успешно применяются [3]. Однако достоверность полученных числовых прогнозных оценок о скорости развития деграда-

ционных процессов в обследуемых механических узлах далеко не всегда подтверждается на практике, что порождает недоверие эксплуатирующего персонала к методу вибродиагностики и в итоге сдерживает ее широкое применение. Это связано с тем, что вибродиагностические комплексы требуют обязательного наличия на предприятиях обученного высококвалифицированного инженерно-технического персонала. Полученные в ходе мониторинга гармоники вибрации являются интегральными для всего объекта в целом, необходимо корректно выделить из них составляющие гармоники для каждого конструкционного узла в отдельности, чтобы можно было сопоставить измеренное значение вибрации конкретного узла с нормируемым для него критическим значением, соответствующим наступлению предельного состояния.

Изложенное выше свидетельствует о том, что эффективность вибродиагностики существенно зависит от человеческого фактора, что является ее главным недостатком и преградой к повсеместному и широкомасштабному внедрению. Следовательно, объектами исследования являются важные конструктивные и механические узлы подвижного тягового железнодорожного состава. При этом следует учитывать, что главной целью диагностирования является определение технического состояния главных механических узлов подвижного тягового железнодорожного транспорта на протяжении всего периода эксплуатации, используя статистические данные температурного мониторинга.

Таким образом, цель работы заключается в решении следующих задач: возможности на основании анализа полученных результатов измерений определения технического состояния или

работоспособности (уровень износа) механических узлов, а также получения прогнозных оценок (численные значения градиента) скорости изменения во времени развивающихся деградационных процессов в механических узлах. Это позволит рассчитать остаточный технический ресурс диагностируемых узлов, разработать методологию повышения технического ресурса конструктивных узлов в соответствии с имеющейся материально-технической базой и требованиями ведомственных нормативных документов и на основе мониторинга оптимизировать сроки и объемы проведения ТО, ТР и КР.

Новизна предложений для достижения поставленной цели. Мы предлагаем создать диагностический комплекс, в основе которого лежат термические исследования деградационных процессов. Большинство деградационных процессов, которые развиваются в механических узлах железнодорожного состава, являются термическими, т. е. изменение скорости деградации напрямую зависит от температуры. Следовательно, логично было бы организовать температурный мониторинг за эксплуатацией механических узлов железнодорожного транспорта. Более того, работающий на предприятиях персонал уже изначально имеет начальные знания о допустимых критических значениях температурного нагрева отдельных механических узлов железнодорожного транспорта и требуется только довооружить квалифицированный персонал соответствующими средствами измерения, обработки, хранения, передачи результатов на расстояние, удобного представления информации для визуализации, анализа и принятия решения, т. е. разработать соответствующую систему мониторинга.

Поскольку критическое значение температуры кипения воды, при которой она превращается в пар, равно $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, то, следовательно, допустимая температура охлаждающей жидкости (воды) в системе охлаждения дизельного двигателя любого тепловоза должна быть меньше этого значения, например, в пределах $85\text{...}90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Отсюда следует, что и для системы смазки дизельного двигателя эти пределы будут такими же. Следует сказать, что сама по себе фиксация момента перегрева масла и охлаждающей жидкости по установленным в кабине машиниста тепловоза измерительным приборам служит простым подтверждением уже случившегося факта о том, что системы смазки или охлаждения находятся в технически неисправном состоянии и требуется провести им ТО или ТР. По сути это фиксация момента наступления аварийной ситуации. Нам же больше интересуют возможности ее предупреждения и в этом сможет помочь налаженная система мониторинга. Для этого надо фиксировать во время эксплуата-

ции не только численные значения температуры нагрева смазки и охлаждающей жидкости, но и их производные по времени, т. е. градиенты скорости нарастания температуры за определенный промежуток времени.

Известно, если обе системы находятся в технически исправном состоянии, то скорость нагрева масла и охлаждающей жидкости (при условии неизменности их объема (исключение протечек), качестве (одинаковости химического состава) и начальной температуры (окружающей среды)) для одного и того же типа дизельного двигателя будет постоянной. Для каждого конкретного типа тепловоза исходные числовые критические значения градиента скорости, которые соответствуют наступлению предельного состояния нагрева масла и охлаждающей жидкости, можно получить из мониторинга. В тех случаях, когда мониторинг проводится непрерывно, спрогнозировать наступление момента аварийной ситуации будет очень легко. Для случая, когда мониторинг проводится выборочно (эпизодически) тоже можно спрогнозировать наступление аварийной ситуации, поскольку искомые значения градиента скорости нагрева можно легко получить в депо в период запуска двигателя и его прогрева на холостых оборотах до момента выхода тепловоза на линию. Логика очень проста и продиктована физикой процесса – если система смазки и охлаждения двигателя начинают засоряться или протекать (объем жидкости уменьшается), то при одних и тех же холостых оборотах двигателя при прогреве градиент скорости нагрева будет соответственно изменяться (уменьшаться). Проводя мониторинг за изменением градиента скорости нагрева, можно будет прогнозировать дату и время захода тепловоза на ТО или ТР по техническому состоянию, главное своевременно не пропустить момент наступления критических значений. Это только один из примеров практического использования рабочим персоналом информации, полученной при температурном мониторинге масла и охлаждающей жидкости во время эксплуатации тепловоза.

Для дизель-электрического подвижного тягового состава сферу мониторинга следует разбить на две составляющие: тяговый двигатель с приводом на колеса и ходовая тележечная часть. В первую часть под температурный мониторинг попадут следующие механические узлы:

– дизельный двигатель, в частности, система смазки и система водяного охлаждения. Сегодня на всех без исключения тепловозах есть измерительные приборы температуры масла в двигателе и температуры охлаждающей жидкости, однако записи показаний во времени и сама система мониторинга отсутствует. Сегодня эти приборы служат в качестве аварийных датчиков, т. е. на



случай перегрева машинист обязан заглушить мотор, в противном случае перегрев и внеплановый ремонт двигателя. Но ведь данную ситуацию можно предусмотреть, если бы был организован температурный мониторинг, например, хотя бы за радиаторными секциями охлаждения двигателя, на основе которого можно было бы своевременно выявить неисправные секции в системе охлаждения. Для этого надо поставить на каждую секцию температурный датчик-регистратор [4] и по заходу тепловоза в депо осмотрщик с помощью сканера за несколько минут снял бы показания со всех датчиков и определил техническое состояние (работоспособность) каждой радиаторной секции. Аналогичная ситуация с организацией температурного мониторинга за генератором, коробкой скоростей, редукторным приводом. Под температурный мониторинг также попадают все механические узлы тепловоза, в конструкции которых присутствует трение;

– в ходовой части следует организовать температурный мониторинг, например, за гидравлическими демпферами (неработающий демпфер меньше греется, чем исправный) [5], буксовыми узлами, тормозной системой, в частности, ободов колес, которые могут перегреваться от неравномерности распределения тормозного усилия по тормозным колодкам колеса и т. п.

Можно привести аналогичный пример использования информации температурного мониторинга в пассажирских вагонных депо. Согласно ведомственному нормативному документу [6], после сборки редуктора необходимо испытать на специальном обкаточном стенде сначала 1 ч без нагрузки, потом 2 ч под нагрузкой. При этом определяющим параметром оценки качества сборки редуктора является температура нагрева редуктора во время трехчасовых испытаний, которая за указанный промежуток времени в конце испытаний не должна превышать 70 °С. Однако опытные мастера редукторно-карданного цеха давно проводят урезанные по времени (до 25 мин вместо 3 ч) испытания на стендах редукторов от средней части оси колесной пары пассажирских вагонов. Зафиксировав критическое значение возрастания градиента температуры редуктора в течение первых 25 мин его испытаний под нагрузкой, они успешно используют эту информацию в целях экономии рабочего времени и электроэнергии (до 100 кВт/ч на одном испытании). В целях подтверждения (или опровержения) практикуемой мастерами методики ускоренных испытаний редукторов целесообразно провести научные экспериментальные исследования и узаконить «ноу-хау», внося соответствующие изменения в ведомственную нормативную документацию [6]. После экспериментальной проверки эту информа-

цию можно использовать на законных основаниях, проводя температурный мониторинг за редукторами в пути следования пассажирских вагонов.

Для пассажирских вагонов мониторингу следует подвергнуть такие важные конструкционные узлы:

– по кузову вагона: подкрышное пространство, пассажирский салон (купе вместе с основным коридором), тамбуры. На основании информации о температурных измерениях в подкрышном пространстве можно будет сделать вывод о техническом состоянии (тепловые потери) теплоизоляции [7] и герметизации (циркуляции воздуха) кузова вагона. По информации о температурных колебаниях в пассажирском салоне можно будет судить об уровне предоставляемого комфорта пассажирам в поездке железнодорожным транспортом, о качестве работы проводников, снизить поток жалоб от пассажиров на проводников за излишнюю «жару» или «холод» в вагоне, сэкономить на отоплении в холодное время года, проверить техническое состояние системы кондиционирования воздуха в жаркое время года;

– по ходовой тележечной части вагона: буксовые узлы, генератор, редуктор, блок кондиционера, гидравлические гасители колебаний. По данным мониторинга можно выявить проблемные узлы, выполнить в депо соответствующий вид ТО или ТР этим узлам в период отстоя состава и тем самым предотвратить возможность возникновения аварийной ситуации в пути следования. По указанным узлам можно будет перейти от «регламентного» технического обслуживания к обслуживанию по «техническому состоянию», если заработает система температурного мониторинга этих механических узлов. При этом значительно сократится общий объем трудоемких операций по демонтажу из-под вагона этих узлов.

В состав любого диагностического комплекса входят следующие элементы:

– средства измерительной техники (датчики-регистраторы) с заданными режимами работы: on-line или в режиме записи на flash-носитель;

– телекоммуникационные средства проводной или беспроводной связи для передачи данных результатов измерений на заданное расстояние;

– автоматизированные средства обработки полученной информации и представление информации в удобном формате для анализа;

– средства для архивации и ведение статистических наблюдений.

Прежде чем выбрать по указанным пунктам сложную электронную технику, надо конкретизировать числовые значения определяющих параметров, соответствующие моменту наступления предельного технического состояния, определиться с уровнем погрешности проводимых измерений, разработать методику расчета остаточного техни-

ческого ресурса и получения прогнозных оценок о развитии деградационных процессов для каждого из объектов диагностирования на основе получаемой статистической информации.

Выводы

В перспективе логическим продолжением станет усовершенствование методологии определения технического ресурса и моделей оптимизации процессов его восполнения для механических конструктивных узлов тягового подвижного состава. Ожидаемый результат от внедрения системы температурного мониторинга – снижение материальных затрат на эксплуатацию железнодорожного транспорта за счет перехода от «регламентного» технического обслуживания механических узлов к обслуживанию их «по техническому состоянию», повышение уровня безопасности движения за счет предотвращения аварийных ситуаций, повышение общего уровня комфорта пассажиров, путешествующих железнодорожным транспортом.

The paper gives the results of analysis of currently available diagnostic systems, which are introduced in railway transportation enterprises. System disadvantages are noted. A new concept of development of a monitoring system for diagnostics of technical condition of the main mechanical components of railway transportation is substantiated. It is shown that the numerical value of temperature or gradient of object heating rate is the main parameter to determine the moment of limit state ingress in this concept. Ref. 7.

К e y w o r d s : diagnostics, monitoring system, technical state, degradation process, maintenance

*Поступила в редакцию
14.02.2014*

НОВАЯ КНИГА

Во втором квартале 2014 г. выйдет в свет книга

Л. М. Лобанов, В. И. Махненко, А. С. Миленин. Практические рекомендации Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины по ремонту сваркой магистральных трубопроводов без вывода из эксплуатации. — Киев: Международная ассоциация «Сварка», 2014. — 8 печ. л.

Издание посвящено вопросам оценки несущей способности магистральных газо- и нефтепроводов с обнаруженными характерными технологическими и эксплуатационными дефектами формы и несплошности материала, а также типичным методам ремонта сваркой без вывода из эксплуатации. В частности, обобщены основные аспекты актуальных отечественных и зарубежных нормативных документов, современные подходы механики разрушения и численного анализа напряженно-деформированного состояния сварных конструкций, новейшие разработки специалистов Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины. Сформулированы практические инженерные алгоритмы, позволяющие оценивать фактическую степень поврежденности участков магистральных трубопроводов на основе данных технической диагностики, планировать ремонт дефектных трубопроводных элементов без вывода их из эксплуатации с позиций эффективности и безопасности проведения работ, прогнозировать ресурс эксплуатации участков трубопровода после ремонта.

Для инженерного персонала организаций, эксплуатирующих магистральные трубопроводы, специалистов неразрушающего контроля и технической диагностики трубопроводных систем, научных работников, занимающихся вопросами прочности сварных конструкций и методами восстановления их несущей способности, и преподавательского состава высших учебных заведений соответствующего профиля.

Заказы на книгу направлять в редакцию журнала.