

# БЕЗОПАСНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

---

## НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВ СЕРИИ БКГ

*О. С. АНАНЬЕВА, С. В. ГЛАЗОВСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

На железной дороге в настоящее время неразрушающему контролю (НК) придается особое значение. Эффективность систем неразрушающего контроля может быть повышена при условии внедрения автоматизированных дефектоскопических комплексов и современных информационных технологий передачи и анализа данных неразрушающего контроля, повышения уровня квалификации персонала, кардинального улучшения организации неразрушающего контроля на предприятиях и совершенствования системы управления неразрушающего контроля на железнодорожном транспорте.

Неразрушающий контроль и, в частности, дефектоскопия как его разновидность должны обеспечивать качество, надежность и безопасность эксплуатации огромного числа самых разных технических объектов, в частности объектов железнодорожного транспорта. Колеса локомотива могут быть цельнокатаными (безбандажными) и составными (бандажными).

Колесная пара в эксплуатации обеспечивает безопасность движения и является наиболее нагруженной и ответственной частью локомотива, поэтому она должна обладать высокой прочностью и износостойкостью, достаточной упругостью и надежностью.

К основным неисправностям колесных пар в эксплуатации относятся: износ бандажа (прокат), выбоины, ползуны, подрез гребня, ослабление бандажа, колесного центра, зубчатого колеса; трещины, вмятины, отколы зубьев зубчатого колеса; трещины, риски, забоины, вмятины на шейках оси.

Для определения неисправностей используются следующие методы НК: магнитопорошковый, вихретоковый, феррозондовый, акустический.

Магнитопорошковый метод НК основан на притяжении магнитных частиц силами неоднородного магнитного поля, образующегося над дефектами в намагниченных объектах, с образованием в зонах дефектов индикаторных рисунков в виде скоплений магнитных частиц. Магнитопорошковый метод позволяет обнаруживать поверхностные и подповерхностные дефекты типа нарушений сплошности материала: трещины различного происхождения, флокены, закаты, надрывы, волосовины, расслоения, дефекты сварных и других соединений.

Работа вихретоковых дефектоскопов основана на возбуждении в контролируемой детали вихревых токов. Эти токи создаются с помощью вихретоковых преобразователей (ВП). Дефекты обнаруживаются в той части детали, по которой протекают вихревые токи. Глубина проникновения вихревых токов в деталь меняется в пределах от долей миллиметра до нескольких миллиметров. Она зависит от частоты возбуждающего тока, электропроводности и магнитной проницаемости материала детали.

Феррозондовый метод НК позволяет обнаруживать дефекты в предварительно намагниченной детали. Дефекты обнаруживаются за счет выявления пространственных искажений магнитного поля над дефектом. Искаженное поле над дефектом именуется полем рассеяния дефекта, или полем дефекта. Обнаруживаются поверхностные и подповерхностные (лежащие в толще материала) дефекты типа нарушений сплошности: волосовины, трещины, раковины, закаты, ужимы и т. п. Метод применяют для обнаружения дефектов сварных швов: непроваров, трещин, неметаллических включений, пор и т. п. В зависимости от размеров выявляемых поверхностных и подповерхностных дефектов, а также глубины их залегания устанавливают одиннадцать условных уровней чувствительности метода.

Для того чтобы определить, необходим ли дополнительный контроль определенных деталей колесной пары, следует произвести расчет на прочность. В результате этого расчета можно будет сделать вывод о необходимости применения дополнительных видов неразрушающего контроля.

Колесная пара является ответственной частью локомотива. Во многом безопасность движения поездов зависит от конструкции, материала, технологии изготовления и ремонта колесных пар. Важное значение для повышения прочности и надежности осей имеют достаточно точные сведения

о нагрузках, действующих на ось, а также методы расчета, позволяющие дать наиболее достоверную оценку напряженного состояния оси в условиях эксплуатации.

Объектами исследования являются ось и цельнокатаное колесо локомотива серии БКГ. На нагруженность и соответственно на сопротивление усталости оси основное влияние оказывают силы, вызывающие изгиб оси в вертикальной плоскости. В данном случае определяются максимальные действующие напряжения в наиболее опасных сечениях оси.

Расчет прочности оси колесной пары выполнялся в соответствии с ГОСТ 31373–2008 и ГОСТ 32.93–97.

Поведенный анализ показал, что максимальная вертикальная сила возникает при движении локомотива в кривой радиусом 610 м при скорости 20 км/ч и составляет 186,2 кН. Максимальная боковая (горизонтальная) сила равна 92,5 кН и возникает при движении локомотива в кривой радиусом 610 м при скорости 60 км/ч. При движении по стрелочным переводам максимальные величины являются следующими: вертикальная сила – 189,1 кН, горизонтальная сила – 89,1 кН. Указанные максимальные значения сил являются характерными для данного подвижного состава, а их значения используются в дальнейших расчетах.

Оси, изготовленные из осевой стали по ГОСТ 4728 и упрочненные накаткой роликами в соответствии с ГОСТ 3281, должны иметь пределы выносливости в расчетных сечениях не менее регламентированных значений. Минимальный расчетный коэффициент запаса усталостной прочности колеса при принятом пределе выносливости 140 МПа равен 2,144, что выше минимального установленного значения коэффициента запаса сопротивления усталости колеса 1,7.

При принятом пределе выносливости материала колеса для железнодорожного подвижного состава минимальный коэффициент запаса усталостной прочности равен 2,144, что выше минимального установленного значения коэффициента запаса сопротивления усталости колеса 1,7. Это в целом удовлетворяет требованиям ГОСТ 4835–2013 и ГОСТ 31373–2008.

По данным, полученным в результате анализа на напряженно-деформированное состояние колеса, были обнаружены места, которые наиболее подвержены дефектам. Эти места располагаются на центральной части колеса, возле оси. Поэтому предлагается кроме использования магнитопорошкового метода при дефектоскопии колесного центра использовать метод акустической эмиссии. Данный метод хорош тем, что позволяет выявлять опасные дефекты на стадии их развития. Это дает возможность не только своевременно обнаружить деформацию, но и в дальнейшем отслеживать состояние проверяемого объекта, планировать срочные меры по устранению проблемы, если она достигнет своего предельного состояния.

Акустическая эмиссия – это пассивный метод неразрушающего контроля. Главная цель ее использования – это выявление трещин, разломов, расслоений, коррозионных процессов. При этом она помогает находить не статические, а развивающиеся дефекты. Именно они являются наиболее опасными, так как грозят серьезными неприятностями в самом ближайшем будущем. В отличие от других методов НК, контроль акустической эмиссией не требует применения каких-либо внешних источников сигнала. Он предполагает улавливание упругих колебаний, генерируемых самим проверяемым объектом, благодаря чему обеспечивается высокая точность обнаружения деформаций. Приборы для акустико-эмиссионного контроля включают в себя два преобразователя и комплект устройств для получения информации с датчиков, ее обработки и вывода на периферийное оборудование, каждый из которых регистрирует время улавливания сигнала.

Преимущество данного метода состоит в отсутствии необходимости в специальной подготовке объекта к проверке. Оборудование может устанавливаться на поверхностях с любой степенью загрязненности, причем дает при этом неизменно точные результаты.

Применение полученных результатов позволит внедрить новые технологически и экономически выгодные методы неразрушающего контроля колесных пар локомотивов серии БКГ, например метод акустической эмиссии, что позволит, в том числе, экономить энергоресурсы предприятия.

#### Список литературы

- 1 ГОСТ 4835–2013. Колесные пары железнодорожных вагонов. Технические условия (с Поправкой). – 32 с.
- 2 ГОСТ 31373–2008. Колёсные пары локомотивов и моторвагонного подвижного состава. Расчёты и испытания на прочность. – 12 с.
- 3 ГОСТ 32.93–97. Тяговый подвижной состав. Оси колесных пар. Методика расчета на прочность. – 80 с.
- 4 ГОСТ 33783–2016. Колесные пары железнодорожного подвижного состава. Методы определения показателей прочности. – 62 с.

5 Цвик, Л. Б. Компьютерные технологии и моделирование полей напряжений и деформаций : учеб. пособие / Л. Б. Цвик. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2005. – 132 с.

6 Инструкция по неразрушающему магнитопорошковому контролю деталей локомотивов и моторвагонного подвижного состава Белорусской железной дороги. – Минск : Белорусская железная дорога, 2004. – 98 с.

7 Герасимов, В. Г. Неразрушающий контроль : практ. пособие. В 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль / В. Г. Герасимов, А. Д. Покровский, В. В. Сухоруков ; под ред. В. В. Сухорукова. – М. : Высш. шк., 1992. – 312 с.

УДК 621.311:625.42

## **ТЯГОВАЯ ПОДСТАНЦИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НАКОПИТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

*О. С. АНАНЬЕВА, В. А. ЗАГОРЦЕВ, В. Н. ПОДОЛЬСКАЯ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Накопители электрической энергии (НЭЭ) на сегодняшний день являются быстро развивающимся классом высокотехнологических устройств, область применения которых расширяется с каждым годом, и тем самым открываются новые возможности их использования в электроэнергетическом комплексе. Системы накопления электроэнергии (СНЭ) представляют собой принципиально новые элементы в системах передачи и распределения электроэнергии, основная задача которых заключается в компенсации пиков мощности, снижении потерь электроэнергии, регулировании частоты и напряжения электрической сети в режиме реального времени, обеспечении требуемого качества электроэнергии и режимов бесперебойного питания в случае возникновения внештатных ситуаций.

В области систем тягового электроснабжения (СТЭ) применение СНЭ является одним из весьма перспективных направлений, так как режимы работы СТЭ характеризуются крайне неравномерной нагрузкой, определяемой случайным количеством и типом электроподвижного состава, работающего на электрифицированных участках железных дорог.

Режимы работы электроподвижного состава (тяги или электрического рекуперативного торможения) непосредственно влияют на СТЭ: уровень напряжения в контактной сети при большой нагрузке плеч питания тяговых подстанций может значительно отличаться от номинального и влиять на скорость движения ЭПС и, как следствие, на пропускную способность; величина потерь электрической энергии в тяговой сети, зависит кроме всего прочего от величины токов в ее элементах и длины пути его протекания. Как известно, применение рекуперации, хоть и дает положительный эффект в виде снижения расхода электрической энергии на тягу поездов, тем не менее увеличивает величину потерь энергии в контактной сети за счет протекания токов от рекуперирующего ЭПС к ее потребителям в границах тяговой сети или в системе внешнего энергоснабжения; качество электрической энергии в точках общего присоединения тяговых подстанций к системам внешнего энергоснабжения, в частности коэффициент несимметрии токов и напряжений, при определенной комбинации режимов тяги и рекуперации на плечах питания тяговой подстанции может выходить за предельно допустимые значения, что отрицательно сказывается на остальных потребителях и др.

Применение НЭЭ в рассматриваемых системах направлено на повышение надежности их работы и улучшение энергетических показателей. При этом в зависимости от конкретного случая возможны следующие варианты применения НЭЭ: непосредственно на самом электроподвижном составе, на тяговых подстанциях (ТП), на выводах питающих линий, на постах секционирования, на промежуточных станциях, а также на перегонах между ТП. Применение СНЭ стационарного исполнения позволяет сгладить пиковые значения потребляемой мощности, стабилизировать напряжение на шинах подстанции, а также снизить расход электрической энергии. Следует отметить, что СНЭ стационарного исполнения, установленные, например, на перегонах и промежуточных станциях, могут выполнять функции ТП – питание тяговых нагрузок и потребление энергии рекуперации, при отсутствии на фидерной зоне электроподвижного состава, работающего в режиме тяги.

В рамках проводимой научно-исследовательской работы на кафедре «Локомотивы» учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта» было разработано устройство ТП постоянного тока с НЭЭ. Главная задача предлагаемого устройства заключается в устранении неравномерности потребления электроэнергии по времени и уменьшении ее потерь, а также повышении надежности работы СТЭ в целом. Основные элементы ТП постоянного тока с НЭЭ представлены на рисунке 1, где 1 – преобразовательный трансформатор, 2 – выпрямительно-