

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Д.В. ПРОСТОСЕРДОВ,
ООО «ТМХ Интеллектуальные Системы»,
инженер по диагностике

А.В. СКЛЯР,
ОАО «Научно-исследовательский институт технологии,
контроля и диагностики железнодорожного транспорта»
(ОАО «НИИТКД»), начальник отдела разработки
электронных систем,
кандидат технических наук

СУВЕЛИЧЕНИЕМ массы поездов и ростом грузооборота возрастает нагрузка на все узлы и агрегаты тягового подвижного состава, что приводит к ускорению их изнашивания. В связи с этим в процессе эксплуатации важно не только аккумулировать данные по техническому состоянию локомотива, но и заблаговременно определять остаточный ресурс его критически важных элементов без захода в депо для проведения стационарной диагностики и ремонта.

Такие задачи решаются с помощью метода предиктивной диагностики, при котором используются исторические данные и машинное обучение для выявления вероятных неисправностей оборудования до их возникновения. Он позволяет выявлять аномалии на ранней стадии, определять тип возможной поломки и оценивать динамику развития дефекта.

В целях реализации указанной технологии компанией ООО «ТМХ Интеллектуальные Системы» разработан бортовой комплекс предиктивной диагностики (БКПД), способный в автоматизированном режиме прогнозировать выход из строя

механизмов и деталей электровоза.

В БКПД реализовано два принципа: анализ измеренных параметров (уровень вибрации элементов колесно-моторных блоков, токовые параметры тяговых электродвигателей) и использование математических моделей на основе данных, полученных из микропроцессорной системы управления и диагностики локомотива (МСУД).

Вибродиагностика функционирует на основе показаний, полученных от датчиков виброускорения, установленных на различных узлах, а также данных о частоте вращения колесных пар и параметрах тока в тяговых электродвигателях. Система первично обрабатывает сигнал при помощи модулей вибрационного контроля, рассчитывает производные параметры виброускорения и передает эту информацию в верхнеуровневое программное обеспечение (ПО) блока обработки данных, где оценивается остаточный ресурс подконтрольных узлов.

Другим важным элементом БКПД является модуль токовой диагностики тяговых электродвигателей. На основе

анализа параметров тока, потребляемого тяговым электродвигателем (ТЭД), этот модуль определяет отклонения от нормальной работы электромагнитной системы ТЭД.

Макет (прототип) БКПД в виде блока с установленным оборудованием был протестирован в реальных условиях на Октябрьской железной дороге в период с 2022 по 2024 г. на электровозе 2ЭС5К. В соответствии с утвержденными программой и методикой испытывались подконтрольные узлы с реальными дефектами:

- неисправностью наружного кольца буксового подшипника;
- обводнением смазки буксового подшипника;
- сливом масла из кожуха зубчатой передачи.

В процессе испытаний все они были выявлены.

С мая 2025 г. ООО «ТМХ Интеллектуальные Системы» совместно со специалистами ОАО «НИИТКД» занимается обновлением алгоритмов работы БКПД в части внедрения спектр-токовой диагностики ТЭД, позволяющей выявлять в спектре потребляемого им тока дополнительные признаки неисправностей. В основе этого метода лежит анализ гармонических составляющих потребляемого тока. При работе ТЭД ток в его якорной обмотке взаимодействует с магнитным полем, создаваемым обмоткой возбуждения. Это поле может быть как постоянным (от обмотки возбуждения, питаемой постоянным током),

так и переменным (при использовании асинхронных двигателей). Во втором случае гармонические составляющие появляются в результате протекающих в обмотках статора и ротора процессах, что дает возможность судить о возникающих в них дефектах.

В идеально собранной машине при питании от идеального источника постоянного напряжения (без пульсаций) гармонические составляющие тока якоря и магнитного поля будут минимальны, а коммутация – без искрения и скачков тока.

В реальных же условиях всегда присутствуют пульсации напряжения (например, при питании от выпрямителя), неидеальность коммутации, неравномерность воздушного зазора, эксцентриситет якоря и другие факторы. Это приводит к появлению гармонических составляющих в токе якоря и магнитном поле, что может вызывать дополнительные потери мощности, вибрации и шум.

При питании ТЭД от источника выпрямленного напряжения (например, от тиристорного преобразователя или диодного моста) в токе якоря неизбежно возникают пульсации, величина которых зависит от числа фаз выпрямителя (чем больше фаз, тем меньше пульсации), наличия сглаживающих дросселей или конденсаторов, а также от параметров нагрузки. Эти пульсации могут приводить к дополнительным гармоникам в магнитном поле и механическим колебаниям.

В реальных машинах гармонические составляющие присутствуют всегда, особенно при питании от выпрямителей, а их характеристики зависят от имеющихся дефектов. Минимизация этих составляющих – важная задача при проектировании и эксплуатации ТЭД.

Установка обновленного программного обеспечения на БКПД

Существенной проблемой является сопоставление появления или роста спектральных составляющих на конкретных частотах с определенным видом неисправности двигателя. Одни и те же спектральные составляющие могут возникать при разных дефектах. В бортовой системе диагностики планируется их подразделять на основе информации, дополнительно получаемой от других систем локомотива.

Следует обратить внимание на тот факт, что тяговый электродвигатель на электровозах присоединен к вращающимся механизмам – в общем случае к тяговому редуктору и колесной паре. Неисправности подшипниковых узлов, узлов редуктора и прочие механические неисправности влияют на создаваемый двигателем вращающий момент. Это влияние будет порождать циклические колебания вращающего момента двигателя, что влечет за собой гармоническое изменение потребляемого тока. Такие спектральные компоненты нужно отделять от компонентов, указывающих на неисправности двигателя.

Возможность применения математических методов в спектр-токовом анализе исследовалась в основном для двигателей переменного тока. Поэтому потребовалось изучить их применимость для двигателей постоянного тока, где основной особенностью является форма питающего напряжения (постоянный или пульсирующий ток) и отсутствие вращающегося магнитного поля. В результате отсутствуют или сведены к минимуму гармонические колебания тока, обусловленные физическими процессами



в двигателе, в связи с чем таких классических методов, как преобразование Фурье, может быть недостаточно.

Применение спектр-токовой диагностики для поиска неисправностей электродвигателей ограничивается числом дефектов, которые достоверно обнаруживаются этим методом. Кроме того, следует учитывать экономическую и техническую обоснованность поиска дефектов бортовыми системами.

Как показывает отечественный и мировой опыт, несмотря на существующие технические сложности (высокий уровень шумов и помех в питающем напряжении, отсутствие единых подходов к выбору диагностических признаков и алгоритмов обработки данных) задача бортовой диагностики тяговых электродвигателей спектр-токовым методом вполне решаема. Однако для этого требуется глубокая теоретическая и экспериментальная проработка, чем сейчас и занимаются специалисты ОАО «НИИТКД». Завершить работы планируется в начале 2026 г., после чего ПО БКПД будет обновлено и начнет внедряться на всех эксплуатирующихся экземплярах комплекса.