

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭД-133



В.И. Овтин

В статье рассматривается новый метод диагностики тяговых электродвигателей, который обеспечит надежную работу данного агрегата. Материалы и методы: метод предиктивной (предварительной) диагностики. Результаты исследования указывают на целесообразность использования адаптированного программного обеспечения. Обсуждения: предиктивная диагностика позволила заблаговременно установить выработку ресурса щеточно-коллекторного узла.

Ключевые слова: электродвигатель, плановый технический осмотр, эксплуатация, износ, тяговый электродвигатель, тепловоз

EDN: IRKLCX

Основополагающим документом, регламентирующим техническое обслуживание и ремонт тяговых двигателей электровозов и тепловозов, является Руководство по техническому обслуживанию и текущему ремонту тяговых электродвигателей (ТЭД) локомотивов [1]. Оно определяет порядок технического обслуживания и ремонта тяговых двигателей, устанавливает виды и объем работ при каждом виде технического обслуживания и ремонта, а также объем испытаний тяговых двигателей после их ремонта. Внедрение инновационных методов при ремонте и техническом обслуживании рассмотрено в статье П.К. Шкодуна [2]. Автор предлагает использовать значения амплитуды восстановленного сигнала профиля коллектора с ограниченным числом гармоник (три диапазона), которые позволяют уточнить методологию диагностики технического состояния профиля тяговых двигателей с использованием инструментов объективного мониторинга.

В настоящее время в большинстве случаев для диагностирования тяговых электродвигателей использу-

ются мегаомметры, которые позволяют путем проведения замеров устанавливать величину напряжения нагрузки электрического тока.

Достоинство данного метода состоит в автономности приборов, они не требуют дополнительных систем подключения для замера и считывания информации, не нуждаются в источнике питания.

К недостаткам использования такого инструмента относятся, прежде всего, малая точность измерения, специфика проведения замера требует достаточно большого свободного пространства для его установки, в процессе замера участвуют минимум два человека, один из которых должен вращать ручку прибора, а другой в это время соединяет прибор с электрическими элементами в местах проведения замера.

Главным недостатком является то, что проведение измерения осуществляется в определенное время, например, в процессе планового осмотра, либо когда система уже дала сбой и электродвигатель перестал работать. Такая организация диагностики ТЭД не позволяет получать оперативную информацию забла-

Овтин Валерий Иванович, руководитель направления Управления планирования и исполнения ООО «ЛокоТех-Промсервис». Область научных интересов: железнодорожный транспорт, ремонт тягового подвижного состава.

современно, что существенно увеличивает простой железнодорожного транспорта.

Актуальность исследования обусловлена возникающей проблемой выхода из строя ЭД-133 в эксплуатации, что связано с низким качеством изолирующего материала, что предполагает выход из строя якорей, отсутствием возможности получения своевременной и точной информации.

Основная часть

Совершенствование планово-предупредительного ремонта, как части технического обслуживания тепловоза, является инновационным методом оперативного обслуживания ТЭД локомотивов [3]. Данный метод снижает вероятность отказов электродвигателя и повышает эксплуатационную надежность.

Значительный научный и практический вклад в разработку средств параметрической диагностики внесли такие ученые и специалисты как В.Н. Балабин, В.М. Бочаров, А.А. Будницкий, П.А. Васин, Р.К. Гизатулин, А.Д. Глущенко, А.Н. Головаш, Б.С. Гольдберг, В.В. Грачев, А.В. Грищенко, С.Г. Жалкин, А.П. Здор, В.И. Киселев, А.Ю. Коньков, Г.А. Комаров, А.А. Куриц, И.К. Лакин, Э.И. Нестеров, Е.А. Никитин, Д.А. Носырев, А.Т. Осяев, Е.С. Павлович, В.П. Парамзин, Э.А. Пахомов.

В мире прогрессивных технологий стратегия совершенствования российских железных дорог устанавливает повышенные требования к подвижному составу, а также реализации возможности использования в диагностике бортовых комплексов, посредством которых диагностика показателей работы ТЭД станет практически постоянной, отображая данные на мониторе. Использование таких компьютерных методик, объединенных в комплексную систему диагностики, позволяет увидеть заранее предотказное состояние двигателя, что даст возможность минимизировать простой тепловоза и предотвратить долговременные ремонты.

Комплексная система проводит диагностирование и отправляет на монитор машиниста данные посредством оперативной связи, таким образом, он постоянно получает точную своевременную информацию, что является крайне важным в работе локомотива.

На сегодняшний день для проведения предиктивной диагностики используются микропроцессорные системы, которые производят измерение параметров электродвигателя постоянно. Все показатели фиксируются на мониторе, так создается уникальная возможность исследовать состояние изнашиваемости подшипников качения, а также контролировать вращение ротора двигателя, что предполагает раннюю

диагностику возможных неисправностей двигателя, которая осуществляется беспроводным способом.

В настоящее время локомотивы уже снабжены интегрированными бортовыми системами, однако недостатки их применения предполагают внедрение более усовершенствованных методов:

- отсутствие постоянного мониторинга показателей вращающихся элементов с обработкой данных и сравнением их с заданными величинами;
- отсутствие предупредительной диагностики посредством постоянного измерения узлов электродвигателя (коллекторно-щеточного аппарата, магнитной системы, а также механических элементов);
- отсутствие специализированных датчиков, например, о вибрации лобовых частей обмотки и сердечника статора, что является значимым показателем исправности работы ротора.

Именно поэтому предиктивный метод компьютерной диагностики представляет собой новый усовершенствованный прием мониторинга работы электродвигателя, посредством которого информация о работе узлов ЭД-133 является более точной и своевременной, что крайне важно в рамках безотказной работы электродвигателя. В том числе, использование данного метода позволяет комплексно охватить сразу несколько составных частей электродвигателя, что является крайне актуальным в безаварийной работе ЭД-133.

Предлагаемый метод относится к компьютерной диагностике с помощью автоматизированной системы управления и основан на внедрении в технический осмотр электродвигателя ЭД-133 методики сбора данных, которая в дальнейшем способствует снижению вероятности возникновения отказов и выходу из строя основных узлов электродвигателя.

Усовершенствование предлагаемой компьютерной методики достигается за счет внедрения системы датчиков, способствующих снижению вероятности отказов электродвигателя и автоматической передаче данных на сервер компьютера. Система датчиков включает в себя мультиплексор для переключения между входными каналами, схему формирования сигнала, обеспечивающую регулировку усиления и смещения для различных входных диапазонов, аналого-цифровой преобразователь, цифровой преобразователь с опорным напряжением.

Аналоговые контроллеры могут быть реализованы с использованием аналоговых компонентов или аппроксимированы цифровыми контроллерами с использованием стандартных аналого-цифровых преобразований. Кроме того, прямое проектирование цифровой системы управления в реальном времени показателями работы электродвигателей гото-

вит читателя к методам проектирования цифрового контроллера.

Автоматизированная система управления данными относится к виду компьютерного диагностирования электродвигателя и представляет собой специализированную программу, с помощью которой будет корректироваться цикл проведения технического обслуживания для каждого конкретного локомотива и электродвигателя на основе автоматически анализируемых показателей работоспособности узлов электродвигателя. Для программ, требующих высокоскоростных измерений, лучше всего использовать интерфейс параллельных данных. Эти компоненты обеспечивают пропускную способность 100 Кб/с при тактовой частоте 2 МГц, что достаточно для большинства высокоскоростных контуров управления и применение более высокоскоростных

протоколов передачи данных для рассмотрения конкретной рассматриваемой методики не требуется и более чем обеспечивается пропускная способность в 100 Кб/с.

Программа будет связана с цифровыми датчиками, которые установлены на основных узлах ЭД-133. Первоначально после подключения датчиков необходимо установить нормированные показатели, что позволит в случае поломки обнаружить отклонение показателя и быстро устранить неполадку.

Для возможности применения данной системы используются датчики частичных разрядов (рис. 1).

Для этих целей целесообразно использовать датчики вибрации (рис. 2).

Эти датчики устанавливаются на узлы работающего электродвигателя и передают сигналы измерительному блоку частичных разрядов.



Рис. 1. Датчики частичных разрядов

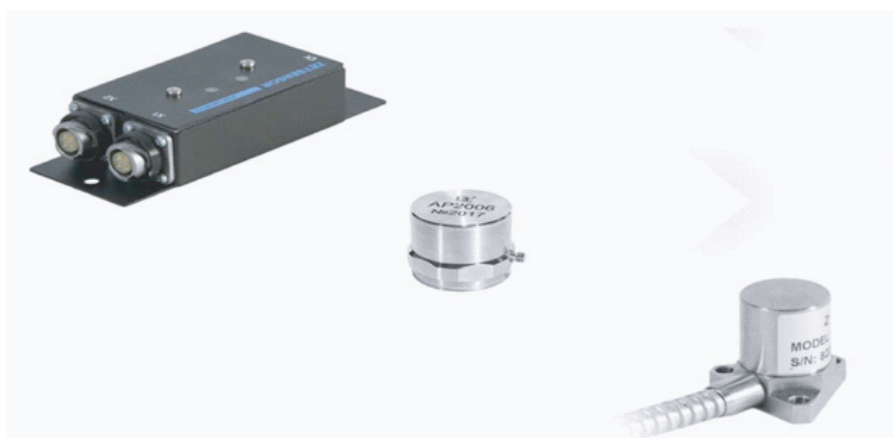


Рис. 2. Датчики вибрации

Фундаментальный принцип поиска и устранения неисправностей измерительной системы заключается в том, что каждый прибор имеет по крайней мере один вход и по крайней мере один выход и выходные данные должны точно соответствовать входным данным.

Токовые петли датчика передают слабые сигналы на большие расстояния в шумной среде. Ток обычно генерируется технологическим датчиком, который преобразует такие переменные, как температура или давление, в постоянный ток в диапазоне от 0 до 20 мА или от 4 до 20 мА. Затем пропускание тока через шунтирующий резистор создает пропорциональное падение напряжения, которое легко оцифровывается. Поскольку согласующее напряжение, доступное для управления петлей (включая сопротивление провода), редко превышает 15–18 В, номинал резистора ограничен несколькими сотнями ом (рис. 3).

Термопары, тензометрические датчики и другие популярные датчики выдают нелинейные сигналы низкого уровня, чувствительные к электромагнитным помехам. Поэтому перед отправкой этой информации в систему управления датчик 4–20 мА сначала линеаризует и формирует сигнал.

Рассмотренный датчик способствует быстрому анализу выходного сигнала и своевременному устранению неполадок и отклонений в системе электродвигателей.

Датчик позволяет получить сигнал, уравнение которого дает среднюю или постоянную составляющую выходного напряжения (1):

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_s(t) dt = V_s D, \quad (1)$$

где T — время, за которое передается сигнал от мультиметра главному серверу;

$V_s(t)$ — скорость передачи сигнала.

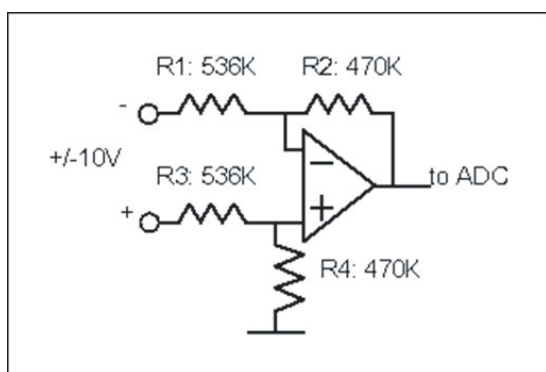


Рис. 3. Токовая петля датчика

Установка датчиков выявления замыкания в обмотке ротора выглядит следующим образом (рис. 4).

Посредством работы датчика все данные отправляются на сервер системы, где происходит их обработка при помощи разделения частичных разрядов (ЧР) от шумов, установление дефектов в работе ротора по видам ЧР, а также результат диагностики в виде оценки риска выхода из строя ротора, на основании которого устанавливается оценка его технического состояния и разрабатываются рекомендации по ремонту.

Отображение результатов работы системы предиктивной диагностики выглядит следующим образом (рис. 5).

Для простоты восприятия работу данной системы можно отобразить схематично (рис. 6).

Возможные дефекты изоляции представлены на рис. 7.

В настоящее время уже существует небольшой практический опыт применения предиктивных систем мониторинга. Для исследования установили датчик вибрации на щеточно-коллекторный узел электродвигателя, при помощи которого производился непрерывный замер вибрации (спектр амплитуд виброускорения, виброскорости). Все данные отправлялись на монитор компьютера. Система предиктивной диагностики производила расчет показателей амплитуды с шагом 2,5 Гц, таким образом произвели оценку по частотам вибраций (рис. 8).

Расчеты производились по формулам (2) – (4):

• коэффициент корреляции

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i) (y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i)^2 (y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i)^2}}; \quad (2)$$



Рис. 4. Датчик для стационарной установки поля ротора

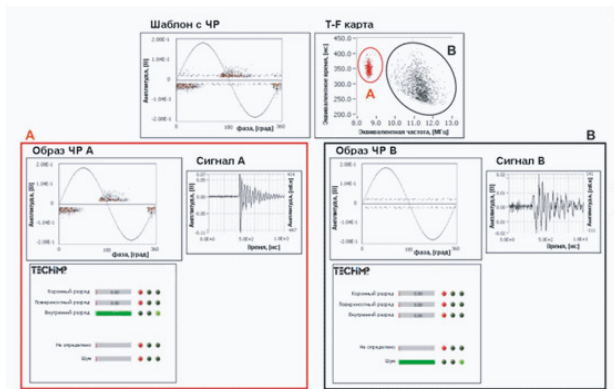


Рис. 5. Показатели мониторов системы предиктивной диагностики

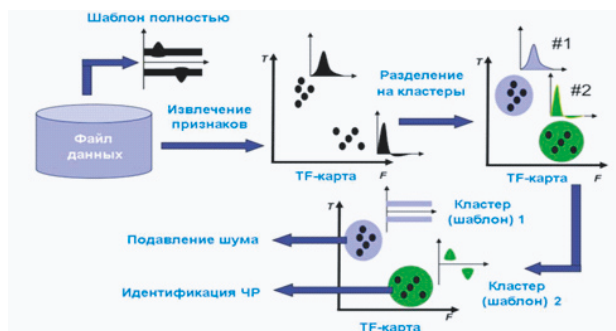


Рис. 6. Схематичное представление работы системы предиктивной диагностики ротора электродвигателя

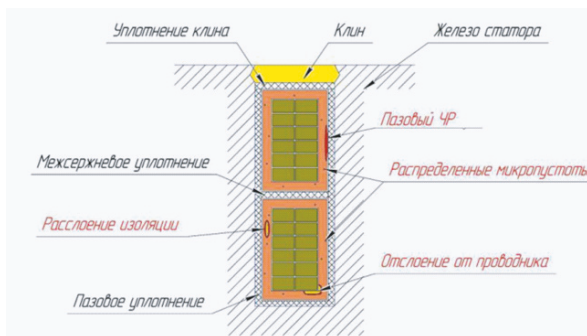


Рис. 7. Возможные дефекты изоляции, выявляемые посредством измерения активности частичных разрядов

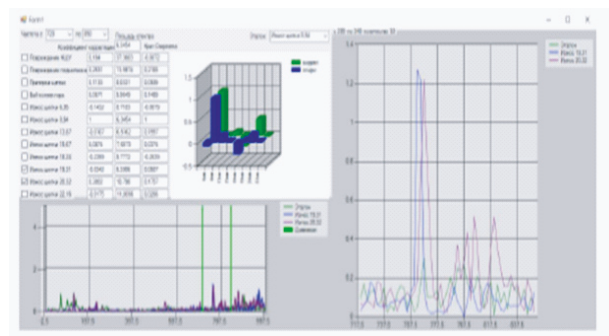


Рис. 8. Соответствие неисправностей частотам вибрации

- непараметрическая ранговая оценка Спирмена:

$$P_{x,y} = \frac{M[R_x R_y] - M[R_x]M[R_y]}{\sqrt{(M[R_x^2] - (M[R_x])^2)} \sqrt{(M[R_y^2] - (M[R_y])^2)}}; \quad (3)$$

- статистика знаков Фишера

$$F_{\text{эмп}} = \frac{S_x^2}{S_y^2} = \frac{\left(\frac{1}{n_1}\right) \sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{\left(\frac{1}{n_2}\right) \sum_1^n (y_i - \bar{y})^2}. \quad (4)$$

На основании расчета данных были установлены степень износа щеток, а также ресурс работы щеточно-коллекторного узла. В исследуемом электродвигателе выявлен рост амплитуды в диапазоне рассматриваемых частот. Посредством полученных данных было установлено, что в данном конкретном случае следует запланировать установку нового щеточно-коллекторного узла, что лучше, чем поддерживать его работоспособность мелкими ремонтами.

Еще раз следует акцентировать внимание на актуальности и новизне данного метода, поскольку предиктивная диагностика позволила заблаговременно установить выработку ресурса щеточно-коллекторного узла.

Среди достоинств компьютерного метода предиктивной диагностики можно отметить следующие:

• непрерывное диагностирование подшипников, ротора и других узлов электродвигателя предполагают получение достоверной оперативной информации по работе ТЭД, что позволяет заблаговременно, до наступления поломки, устранить имеющиеся неисправности или неточности работы узлов, чтобы не допускать простои электродвигателя;

• на основании полученных данных состояний узлов электродвигателя специалисты могут корректировать время плановых ремонтов, не доводя ситуацию до критической или, наоборот, не останавливать работу систем, если ремонт не требуется;

• при осуществлении коррекции работы двигателя можно использовать возможности компьютерной системы, не прибегая к ручному труду.

Единственным недостатком внедрения предиктивной диагностики является сложность ее наладки, а также сама по себе работа с системой. Для грамотной и оперативной наладки и диагностики необходимо участие высококвалифицированного персонала, однако, при специализированном обучении специалистов, получении грамотного кадрового состава, работа по методу предиктивной диагностики даст свой высокий результат и позволит минимизировать простои оборудования.

Заключение

Таким образом, следует констатировать, что предлагаемый компьютерный метод предиктивной диагностики обеспечит существенное увеличение эксплуатационной эффективности и надежности работы ТЭД посредством предопределения времени и места вероятного появления механических и электрических повреждений, что позволит своевременно их устранить, что в совокупности своей снижает вероятность наступления аварийной ситуации, а также практически исключает простои электродвигателей.

Уникальность и новизна данной системы мониторинга видится в своевременном обнаружении дефектов электродвигателя и заблаговременного планирования ремонтов отдельных узловых единиц ЭД-133, что является недоступным интегрированным бортовым системам диагностирования, которые уже установлены на современных тепловозах.

Автор считает необходимым продолжить практические исследования в рамках применения предиктивного метода диагностики электродвигателя ЭД-133. 

Литература

1. ПКБ ЦТ.06. 0001.Руководство по техническому обслуживанию и текущему ремонту тяговых электродвигателей (ТЭД) локомотивов : сайт. - URL : https://cssrzd.ru/orders/add_orders/docs_techinfo82.php (дата обращения : 01.02.2022). - Текст : электронный.
2. Шкодун, П. К. Совершенствование методики оценки качества ремонта коллектора тягового электродвигателя / П. К. Шкодун. - DOI: 10.1088/1742-6596/1901/1/012078. - Текст : электронный // Журнал серии конференций по физике. - Т. 1901 (1) - URL : https://www.researchgate.net/publication/351858154_Improvement_of_the_methodology_for_assessing_the_quality_of_the_traction_motor_collector_repair (дата обращения : 01.02.2022).
3. Повышение эффективности технического обслуживания локомотивов / А. В. Грищенко [и др.]. - Текст : непосредственный // Известия Петербургского университета путей сообщения. - 2012. - №4. - С. 93 - 97.
4. Барков , А. В. Технология вибрационного диагностирования подшипников качения колесно-моторных блоков локомотивов / А. В. Барков, Н. А. Баркова, С. Г. Дегтерев. - Текст : электронный. - URL : <https://vibro-expert.ru/tehnologiya-vibracionnogo-dagnostirovaniya-podshipnikov-kacheniya-kolesno-motornix-blokov-lokomotivov.html> (дата обращения : 01.02.2022).
5. Кольцов, С. В. Совершенствование методов технического обслуживания и ремонта локомотивов / С. В. Кольцов, Л. В. Коваленко. - Текст : непосредственный // Сборник научных трудов ДОНИЖТ. - 2018. - № 49. - С. 24 - 30.
6. Базовые цены на работы по ремонту энергетического оборудования, адекватные условиям функционирования конкурентного рынка услуг по ремонту и техперевооружению. - Москва, 2003 (с дополнениями от 2006 г.) : согласовано ОАО РАО «ЕЭС России». - Текст : непосредственный.