

УДК 621.372

А. В. ФАЩЕВСКИЙ, заведующий НВЦ «Киев-Волынский», В. Г. ГРИШКО, доктор технических наук, Ю. Ф. ДУБРАВИН, кандидат технических наук, Государственный экономико-технологический университет транспорта, г. Киев, Украина

МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ТЭД

Анализ статистических данных отказов локомотивов депо Киев-Пассажи́рский показал, что на долю электромагнитной системы ТЭД приходится наибольшее количество отказов. В статье рассмотрены только причины, методы и возможности выявления дефектов электромагнитной системы электровоза в процессе эксплуатации средствами бортовой диагностики и контроля.

Основными причинами, которые приводят к отказам тяговых двигателей, являются дефекты, возникающие в процессе эксплуатации, неудовлетворительное качество проведенных ремонтных работ и низкий уровень надежности отдельных элементов двигателя. Обобщенно выделяют следующие типы дефектов:

- конструктивные (отдельных деталей тягового двигателя);
- электромагнитной системы.

Для коллекторных тяговых двигателей наиболее низкий уровень надежности, являющийся чаще всего причиной отказов всего двигателя, имеет щеточно-коллекторный узел, однако его состояние определяется многими факторами, которые влияют на условия коммутации тока якоря. Поэтому основными дефектами, которые при несвоевременном их выявлении могут привести к более серьезным последствиям (в том числе к отказу тягового двигателя), являются:

- несимметрия магнитного поля возбуждения через неравномерность воздушных зазоров и электрическую несимметрию обмоток основных и дополнительных полюсов;
- электрическая несимметрия обмоток якоря, в том числе наличие короткозамкнутых витков и обрывов в обмотке якоря и уравнительных соединениях;
- обрывы электрических соединений между обмоткой якоря и пластинами коллектора;
- наличие дефектов щеточно-коллекторного узла, в том числе неравномерный износ пластин и щеток, замыкание пластин коллектора, выступание межламельной изоляции и т.п.;
- дефекты подшипников;
- наличие дефектов системы охлаждения магнитопровода и обмоток;
- повреждения изоляции обмотки возбуждения и якорной обмотки;
- нарушение баланса ротора (дисбаланс ротора);
- ослабление крепления отдельных деталей двигателя;
- разбандажировка магнитопровода.

В настоящее время системами контроля и диагностики можно с достаточно большой вероятностью диагностировать механическую часть оборудования ТРС, однако согласно статистическим данным, полученным в локомотивном депо Киев-Пассажи́рский, доля отказов электромагнитной системы на порядок выше. Так, количество внеплановых видов ремонта тяговых двигателей серии AL-4442NP за 2012 г. составило:

- электровозов ЧС-4 – 156 (рисунок 1);
- электровозов ЧС-8 – 212 (рисунок 2).

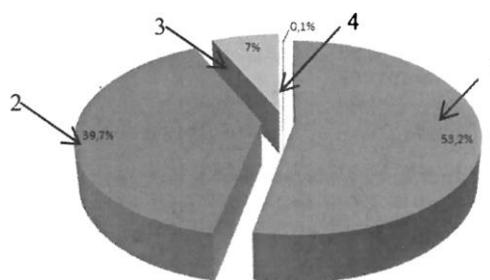


Рисунок 1 – Основные причины внеплановых ремонтов электровозов серии ЧС-4

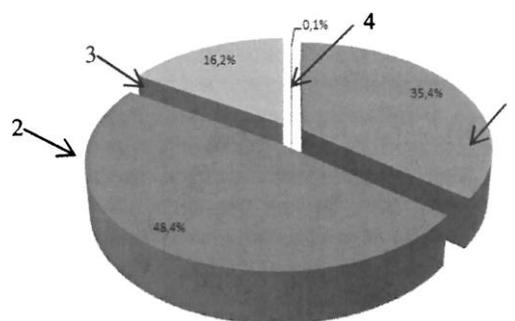


Рисунок 2 – Основные причины внеплановых ремонтов электровозов серии ЧС-8

Причины основных неисправностей:

- 1) появление кругового огня по коллектору – 53,2 % на электровозах ЧС-4 и 35,4 – на ЧС-8;
- 2) отказы, связанные с повреждением изоляции: межвитковое замыкание, пробой изоляции и т.п., – 39,7 % на электровозах ЧС-4 и 48,4 – на ЧС-8;
- 3) выход из строя подшипника (подшипников) качения – 7 % на ЧС-4 и 16,2 – на ЧС-8;
- 4) повреждение соединений между полюсами, выводных кабелей – 0,1 % на электровозах ЧС-4 и ЧС-8 одинаково.

По заявленным характеристикам производителей комплексов диагностики эти приборы позволяют обнаруживать неисправности электромагнитной системы, однако на практике внешние шумы сигналов исправных подшипников и значительная размытость акустического

портрета скрывают дефекты систем возбуждения и коммутации. Такие дефекты можно идентифицировать путем анализа электромагнитных параметров ТЭД, и поэтому нами рассмотрена возможность использования электрических параметров работы ТЭД для идентификации неисправностей.

Методика основана на измерении текущих значений параметров вибрации (виброускорение, виброскорость, виброперемещение), температуры, тока потребления, частоты вращения якоря. Оценка технического состояния осуществляется на основе анализа эффективного множества диагностических параметров в условиях переменного скоростного и нагрузочного режимов движения, по результатам цифровой обработки сигналов датчиков вибрации, установленных на крышках моторно-осевых подшипников, датчиков температуры, размещенных на входе и выходе охлаждающего воздуха, датчика оборотов якоря и датчиков тока потребления электродвигателя.

Бортовая система предназначена для мониторинга технического состояния электровоза в режиме реального времени и позволяет своевременно обнаруживать возникновение и развитие неисправностей с отображением информации на дисплее в кабине машиниста.

В бортовую диагностическую станцию в реальном времени поступает информация с размещенных на борту датчиков, избирается отправная точка накопления данных, например, выход локомотива после ремонта. Система начинает запись в долговременную память параметров работы каждого ТЭД в различных режимах. Это должна быть частота вращения, ток и напряжение на якоре, обмотке возбуждения, разница температур охлаждаемого воздуха на входе и выходе, мощность в данный момент времени, активное сопротивление ротора и статора. В процессе эксплуатации ведется постоянный мониторинг этих параметров, сравниваются значения всех ТЭД локомотива, строится тренд характеристик. Понятно, что в случае значительного отклонения одного двигателя от тренда можно утверждать о каких-то нарушениях в работе электрической машины. Кроме этого, разница температур охлаждаемого воздуха, сопротивление якоря и статора является величиной, разной для всех двигателей, но примерно постоянной для каждого из них, поэтому изменения этих значений указывает на развитие дефектов.

Учитывая процент отказов, очевидно, что основное внимание следует уделить двум причинам выхода из строя ТЭД – появление кругового огня по коллектору и повреждения изоляции. Установлено, что главной из причин кругового огня есть конструктивные недостатки самой электрической машины, процесс возникновения является спонтанным и не поддается прогнозированию, поэтому подробно остановимся на вопросе изоляции.

Для выявления дефектов в изоляции обмоток статора и якоря необходим постоянный контроль тяговых двигателей в процессе их эксплуатации. Для этой цели рассмотрена возможность использования штатных датчиков контроля работы ТЭД, не усложняя систему, однако изменяя алгоритм ее работы.

Развитие дефектов в изоляции в основном связано с проникновением в нее влаги.

Для выявления возникающих в изоляции дефектов разработаны и применяются следующие методы неразрушающих испытаний изоляции - измерение:

- а) тангенса диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$;
- б) частичных разрядов в изоляции;
- в) емкости;
- г) сопротивления изоляции и др.

Угол диэлектрических потерь δ является в первую очередь показателем наличия в изоляции посторонних включений, в частности увлажнения изоляции. Характер изменения при периодических измерениях позволяет судить об ухудшении свойств изоляции. Измерение изоляции осуществляется приборами, в основе которых лежит принцип высоковольтного моста Шеринга. Недостатком этого метода является низкая помехозащищенность и сложность автоматизации процесса измерения.

Измерение частичных разрядов, являющихся основной причиной электрического старения внутренней изоляции, дает более объективную информацию о состоянии изоляции, но такие измерения очень сложны и имеют малую помехозащищенность. Поэтому они в основном применимы лишь в лабораториях и мало пригодны для условий депо.

Определение влажности изоляции. Анализ влияния климатических условий показал, что в период с ноября по март резко возрастает количество отказов электрических машин (в 3,5 раза по сравнению со средним количеством за год). Довольно часто сопротивление изоляции снижается до предельно допустимых значений 1–1,5 МОм. Выявление причин снижения величины сопротивления изоляции является актуальной задачей, т.к. неправильное определение причины может привести к ошибочной замене тягового двигателя вместо восстановления его изоляции путем сушки. О влажности изоляции тяговых двигателей судят по величине коэффициента абсорбции:

$$K = \frac{R_{15}}{R_{60}};$$

где R_{15} и R_{60} – сопротивления изоляции, измеренные через 15 и 60 с соответственно.

При хорошей и сухой изоляции коэффициент абсорбции составляет 1,5–2, а для увлажненной приближается к единице. Наименьшим значением коэффициента абсорбции изоляции тяговых двигателей следует считать 1,1–1,2 (при температуре окружающего воздуха 20 ± 10 °С).

Контролируя напряжение и ток на зажимах ТЭД, с помощью простых математических операций можно легко определить изменение сопротивления изоляции в любой момент времени. Постоянная память бортовой системы позволяет записывать данные и проводить анализ изменения характеристик ТЭД в зависимости от пробега, сигнализировать о переходе параметрами критического предела.

Емкость изоляционной конструкции при неизменной температуре и частоте есть величина постоянная. Поэтому изменение емкости свидетельствует о дефектах в изоляции, в том числе и об ее увлажнении. На принципе измерения абсорбционной емкости основаны методы контроля влажности изоляции: «емкость – частота», «емкость – температура» и «емкость – время».

В слоистом диэлектрике, кроме явлений поляризации, происходит медленное накопление зарядов на границах слоев – внутрислойная поляризация, что увеличи-

вает диэлектрическую проницаемость диэлектрика. Процессы внутрислойной поляризации заметны при нагревании изоляции, и особенно при ее увлажнении. С изменением частоты приложенного испытательного напряжения изменяется емкость, что свидетельствует о внутрислойной поляризации. Сравнение емкостей изоляции на двух частотах испытательного напряжения, одна из которых будет равна нескольким герцам, другая – нескольким десяткам герц, дает возможность судить о степени объемного увлажнения изоляции. Бортовая система определяет соотношение емкости C изоляции при частоте 2 и 50 Гц. Если соотношение емкостей при указанных частотах напряжения более 1,4, то изоляция увлажнена и требует сушки. Измерять емкость обмотки следует при температуре от 15 до 35 °С, но не во всех случаях, когда соотношение емкости превышает 1,4, изоляция выходит из строя.

Еще более прост метод измерения абсорбционной емкости, получивший название «емкость – время». В этом методе измеряются мгновенные значения емкостей изоляции через время ~1 мс и 0,5–1 с после приложения зарядного напряжения или, наоборот, после разряда.

Метод «емкость – температура» основывается на измерении емкости при увеличении температуры.

Увлажнение особенно опасно для той изоляции, которая имеет хотя бы частичные внутренние повреждения.

Определение степени искрения под щетками. Искрение под щетками приводит к подгару коллекторных пластин и усиленному износу щеток. Оценка искрения может осуществляться разными способами. В данном случае мы можем воспользоваться методом переменной составляющей напряжения, когда коммутация оценивается измерением переменной составляющей напряжения на выводах тягового двигателя. Это напряжение практически пропорционально степени искрения под щетками.

Определение межвитковых замыканий. Нарушение межвитковой изоляции происходит как при производстве обмоток, так и при эксплуатации электрических машин. Пробой межвитковой изоляции в условиях эксплуатации может быть вызван атмосферными или коммутационными перенапряжениями при переходных процессах и другими причинами. Установлено, что в

зимний период в 4 раза возрастает число аварийных режимов, сопровождающихся срабатыванием БВ или ГВ. В связи с этим возрастает число воздействующих на изоляцию перенапряжений. Многократные попытки локомотивных бригад восстановить напряжение также приводят к увеличению числа этих перенапряжений.

Дефекты обмоток якоря приводят к появлению пульсирующих моментов, действующих на якорь с частотами, кратными частоте его вращения. Это позволяет использовать в качестве диагностического параметра величину вибрации тягового двигателя, которая может быть оценена с помощью современных средств виброакустической диагностики, устанавливаемых на борту.

Известные методы выявления межвитковых замыканий в полюсных катушках тяговых двигателей не нашли применения даже в депо из-за малой их эффективности. Недостатком этих методов является то, что для обнаружения дефектов в катушках требуется обязательная разборка магнитной системы остовов двигателей, которая связана с большой затратой времени и усложняет проверку. Приведенные примеры использования бортовых систем мониторинга и контроля электромагнитных параметров работы ТЭД позволяют значительно повысить уровень оценки текущего состояния оборудования и, как следствие, сократить количество отказов в процессе эксплуатации. В перспективе это позволит также уменьшить затраты на ремонт путем увеличения межремонтных пробегов и частичного перехода к системе ремонта по фактическому состоянию. Особое внимание следует обратить на то, что предложенные методы не требуют коренной модернизации материальной базы, они только предполагают эффективное использование данных, которые уже поступают в бортовые системы локомотива.

Список литературы

- 1 **Брон, О. Б.** Круговой огонь на коллекторе машин постоянного тока // Электричество. – 1935. – № 3.
- 2 **Находкин, В. М.** Ремонт электроподвижного состава: учеб. для техникумов ж.-д. трансп. / В. М. Находкин, Д. В. Яковлев, Р. Г. Черепашенец; под ред. В. М. Находкина. – М.: Транспорт, 1989. – 295 с.

Получено 12.05.2014

A. V. Fashevskiy, V. G. Gryshko, Y. F. Dubravin. Identification methods fault of electromagnetic system of traction electric motor.

The statistical analysis of failures locomotive depot Kiev-Passenger showed that the share of the electromagnetic system TEM have the greatest number of failures. In the article the only reason, the methods and the identification of defects electromagnetic system during operation of electric facilities onboard diagnostics and control.