

Минск: Белорусский национальный технический университет, 2021. – P. 181–184.

4. Zhou, L. FDS analysis for multilayer insulation paper with different aging status in traction transformer of high-speed railway / L. Zhou, D. Wang, L. Guo, L. Wang, J. Jiang, W. Liao // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2017. – № 5. – P. 3236 – 3244.

5. Pankaj, Sh. Experimental Evaluation of Water Content in Transformer Oil / Sh. Pankaj, S. Y. Rood, R. K. Jarial // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. – 2013. – Vol. 2. – P. 284–291.

7. Yusupov, D. T. Regression Model for Determining the Breaking Voltage of Cleaned Transformer Oils / D. T. Yusupov, H. A. Khamrakulova // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – 2021. – № 8. – P. 17032–17036

УДК 621.385

Статистика отказов и анализ повреждаемости электрических машин

Нуриддинов С. Б., Авазов Б. К., Каршиев К. Т.

Ташкентский государственный транспортный университет

Ташкент, Республика Узбекистан,

Для определения повреждений наиболее целесообразным и эффективным является метод продления ресурса изоляции путем капсулирования локального повреждения с использованием пропиточных материалов и теплового излучения. На протяжении последних десяти лет в УП «Ўзтемирйўлмаштаъмир» сохраняется стабильная тенденция по пробой изоляции и межвитковому замыканию (МВЗ) обмотки якоря типа НБ-514. В этой связи была выдвинута гипотеза о том, что пробои изоляции и межвитковые замыкания обмотки якорей наиболее часто происходят в результате интенсивных процессов тепло- и массообмена в изоляции лобовых частей их обмоток с открытыми головками секций.

Традиционный путь исследования надежности электрических машин – исследование статистических данных об отказах. При первоначальном изучении статистики отказов по типам электрических машин наибольшее внимание уделяется «слабым» узлам и причинам отказов. При исследовании надежности систем или отдельных технических изделий пользуются следующими приемами: система разбивается на блоки, затем определяются надежность каждого блока и результирующая надежность всей системы.

Система разбивается на блоки на основании анализа функционального назначения и физических процессов, происходящих в системе и блоках. Однако нет смысла исследовать все блоки, входящие в систему, так как их надежность обычно значительно различается. Отказы некоторых из блоков практически невозможны, и их учет при определении результирующей надежности только усложняет эксперименты и расчеты, практически не меняя окончательный результат. Поэтому при составлении структурных схем пользуются методом «слабых звеньев», выделяя только те блоки, надежность которых в данных условиях минимальна.

В этом аспекте рассмотрим основные типы электрических машин. В асинхронных двигателях при исследовании на надежность следует выделять как «слабые звенья» обмотку статора и подшипниковый узел. В синхронных машинах следует выделять обмотки статора и ротора, щеточный аппарат и контактные кольца, подшипники (или подпятники), системы охлаждения и пожаротушения и т. д. Машину постоянного тока с точки зрения ее надежности представляют из следующих узлов: коллекторно-щеточный и подшипниковый узлы, обмотки якоря, узлы возбуждения, добавочных полюсов и компенсационные узлы [1].

Отказы электрических машин можно разделить на конструкционные, технологические (производственные) и эксплуатационные. Конструкционные отказы возникают из-за несовершенства (незнания) или нарушения правил проектирования и конструирования электрической машины, технологические – из-за нарушения процесса производства или ремонта, эксплуатационные – из-за неправильного применения, отсутствия защиты, нарушений условий эксплуатации электрических машин. Отказы электрических машин могут быть обусловлены старением материалов и износом узлов, а также случайной концентрацией нагрузки, предвидеть которую практически невозможно.

Долгий и кропотливый труд по сбору статистических данных об отказах и их анализу необходим для разработки и уточнения методик расчета надежности электрических машин, обеспечения и повышения надежности, совершенствования технологии изготовления, разработки выбора электрических машин, создания и улучшения систем защиты и правил технической эксплуатации [2].

Проанализируем причины отказов электрических машин различных типов.

Асинхронные двигатели. В подавляющем большинстве случаев (85–95 %) отказы асинхронных двигателей мощностью свыше 5 кВт происходят из-за повреждения обмоток и распределяются следующим образом:

- межвитковые замыкания – 88 %;

- пробой межфазной изоляции – 7 %;
- пробой пазовой изоляции – 5 %.

На подшипниковый узел приходится 6–9 % отказов и небольшой процент связан с такими причинами, как распайка выводных концов, скручивание валов, разрыв стержней ротора и др.

Причины отказов можно дифференцировать следующим образом:

- технологические – 38%;
- эксплуатационные (главным образом неудовлетворительная защита электродвигателей) – 45 %;
- конструкционные – 17 %.

Под неудовлетворительной защитой следует понимать отсутствие тепловой защиты или ее отказ. Исследования показали, что разброс времени срабатывания тепловой защиты, даже ненастроенной, практически не влияет на аварийность. При защите электродвигателей плавкими ставками, что имеет место в большинстве случаев, они отказывают вследствие работы на двух фазах. Материалы эксплуатации свидетельствуют о том, что 80 % аварий (вследствие работы на двух фазах) происходит из-за отсутствия тепловой защиты и только 20 % – от ее неисправности.

Одна из распространенных причин повышенной интенсивности отказов электродвигателей – вибрация агрегата, которая влечет за собой отказы подшипников, обмотки, а иногда и трещины в чугунной оболочке электродвигателя и в лапах крепления постаментов. Повышенная вибрация объясняется неудовлетворительным сочленением электродвигателя и исполнительного механизма, остаточной неуравновешенностью вращающихся масс, повышенным зазором между телами качения и кольцами шарикоподшипника, искажением формы посадочных мест под установку подшипника или их несоосностью, овальностью колец шарикоподшипника и т. п.

На процесс разрушения изоляции ускоряющее влияние оказывают концентрации нагрузок: повышенные механические усилия при переходных процессах, перегрузки по току, перенапряжения, вибрации и другие факторы. В этой ситуации наличие участков с пониженной электрической прочностью и приводит к повреждению обмотки, ибо амплитуды практически возможных перенапряжений недостаточны для пробоя доброкачественной изоляции. При изготовлении обмотки возможно попадание на ее поверхность ферромагнитных частиц, вибрация которых в магнитном поле приводит к постепенному разрушению изоляции.

Недостаточно надежное крепление лобовых частей обмотки создает условие для повреждения изоляции преимущественно у выхода стержней из пазов. Со временем происходит опускание корзины лобовых частей обмотки, в связи, с чем появляются более уязвимыми при вибрации и уда-

рах под воздействием внезапных электродинамических усилий (короткое замыкание и несинхронные включения – пуски и реверсы для двигателей). Серьезной опасности изоляция обмотки подвергается также при тепловых перегрузках, вызванных причинами местного характера. Так, при разрушении изоляции листов и местном замыкании сегментов активной стали температура в области замыкания может достигать 200–300 °С. Повреждению изоляции обмотки статора способствует также проникновение в машину воды и масла.

Причиной повреждения активной стали является в основном ослабление ее запрессовки. Прессовка стали должна производиться примерно через 0,5 мм, причем давление прессовки увеличивается с 80–100 до 179 Н/см². При меньших давлениях не обеспечивается необходимая плотность прессовки, при больших – возникает опасность повреждения лаковой пленки под вентиляционными распорками, где местные давления достигают 1000–1200 Н/см².

Относительно редкие, но тяжелые аварии вызываются разрушением роторных валов. Причиной аварии может быть заклинивание ротора при разрыве бандажа, распространение трещин от зубцов в глубину вала, а также температурные напряжения в теле ротора, вызванные несимметричным распределением тепловых потоков в плоскости поперечного сечения. Например, разность температур поверхности большого зуба и внутренней области ротора у нейтральной оси в турбокомпрессорах с косвенным охлаждением достигает 90–100°С. При этом напряжение разрыва, направленной вдоль оси ротора, может составлять величину порядка 16 000–180 000 Н/см².

Распространенной неисправностью является снижение сопротивления изоляции цепи ротора из-за загрязнения токопровода маслом и угольной пылью. Снижение сопротивления изоляции может произойти также вследствие загрязнения самой обмотки.

Чаще всего повреждения подшипников и подпятников сопровождаются выплавлением баббита, повреждением вкладышей и цапф подшипниковыми токами и вытеканием масла. Выплавление баббита обычно происходит в результате нарушения работы системы маслоснабжения. При быстрой остановке агрегата повреждения цапф оказываются незначительными, так как расплавленный баббит играет роль смазки. Поврежденные вкладыши подлежат замене или перезаливке. Возникновение подшипниковых токов типично для крупных электрических машин. Весьма значительные токи протекают через подшипники при замыкании цепи возбуждения на корпус и наличии заземления во внешней цепи ротора. В этом случае повреждения шеек вала и вкладышей подшипников могут быть весьма серьезными.

Однако даже небольшие подшипниковые токи при длительном протекании приводят к повреждению вкладышей и шеек валов.

Весьма ответственным узлом гидрогенераторов является подпятник. Повреждения подшипников обуславливают существенный процент отказов электрических машин этого типа. Наиболее характерными повреждениями подпятников являются износ, задиры и выплавление баббитового слоя на поверхности сегментов, а также повреждения от подшипниковых токов. Повышенный износ может быть обусловлен чрезмерной удельной нагрузкой на определенных участках поверхности сегментов, вызванной их температурной деформацией или иными причинами.

Повышенная вибрация электрических машин свидетельствует о наличии недостатков конструкции, дефектов изготовления и сборки, а также о возникновении повреждений. Вместе с тем сама вибрация является источником серьезных повреждений и аварий.

В результате повышенной вибрации происходит ослабление прессовки активной стали, нарушение плотности соединений, разрушение сварных швов и деталей вследствие усталости материала и контактной коррозии, снижение газоплотности, ускоренный износ изоляции, нарушение герметичности в системах водо- и маслоснабжения, повышенные потери и нагрев подшипников, расстройство работы и износ контактных колец и щеточного аппарата и т. д.

В результате проведенного анализа статистических данных отказов тяговых электродвигателей постоянного тока большегрузных электровозов установлению ТЭД НБ-514 установлено, что наиболее не надежными элементами являются обмотка якоря и коллекторно-щеточный узел. По проведенному анализу число отказов электродвигателей по коллекторно-щеточному узлу колеблется от 41,6 % (по предприятиям УП «Ўзтемирийўлмаштаъмир») и в среднем по всем отраслям составляет 26,5 %; по обмотке якоря – от 21,6 % (УП «Ўзтемирийўлмаштаъмир») до 4,2 % [3].

Рассмотрим характерные повреждения основных узлов машин постоянного тока. К характерным повреждениям коллектора относятся изменение его формы из-за неравномерного износа, нарушение полировки поверхности с появлением на ней царапин, подгорание и оплавление пластин при неблагоприятной коммутации и круговых огнях. При возникновении одного из указанных повреждений машина должна быть остановлена для проведения соответствующего ремонта.

Повреждение обмотки якоря происходит по следующим причинам:

- из-за пробоя корпусной изоляции между обмоткой и пакетом стали якоря;
- межвитковых замыканий (в якорях с многовитковыми секциями);

- распайки соединительных петушков коллекторных пластин с обмоткой (в машинах большой мощности);
- разрушения бандажей, удерживающих обмотку якоря (в высокоскоростных машинах) и др.

Повреждения обмоток возбуждения, обмоток добавочных полюсов и компенсационных обмоток довольно редки. Они представляют собой пробой корпусной изоляции между обмоткой и магнитной системой машины.

Из механических частей машин постоянного тока наиболее подвержены износу подшипники скольжения или качения и шейки вала. Характерными признаками повреждений этих узлов являются износ вкладышей, вытекание смазки, нарушение работы смазочных колец, поломка шариков или роликов, разрушение сепараторов, заклинивание шариков, заедание шеек вала во вкладышах подшипников и др. Повреждения щеточной траверсы могут проявляться в виде поломки кольца траверсы, закрепляющего ее в подшипниковом или другом устройстве, расстройстве регулировки положения щеткодержателей на пальцах или bracketах траверсы, повреждения пальцев или bracketов, удерживающих щеткодержатели на траверсе и др. Появление любого из указанных повреждений приводит к отказу машины, которая должна быть остановлена для проведения соответствующего ремонта.



Рис. Фрагмент поврежденной изоляции якорной обмотки электрической машины

Приведен (рис.) фрагмент характерного локального повреждения изоляции лобовой части якорной обмотки ТЭМ НБ-514 со стороны противоположной коллектору. При таком повреждении наиболее целесообразным и эффективным будет метод продления ресурса изоляции путем капсулирования локального повреждения с использованием пропиточных материалов и теплового излучения [4]. На протяжении последних десяти лет в УП «Ўзтемирйўлмаштаъмир» сохраняется стабильная тенденция по пробое изоляции и межвитковому замыканию (МВЗ) обмотки якоря ТЭД типа НБ-514. В этой связи была выдвинута гипотеза о том, что пробой изоляции и межвитковые замыкания обмотки якорей наиболее часто происходят в результате интенсивных процессов тепло-массообмена в

изоляции лобовых частей их обмоток с открытыми головками секций. Так как эти двигатели работают в тяжелых природных условиях (дождь, снег, перепады температур и т. д.)

Литература

1. Смирнов, В. П. Непрерывный контроль температуры предельно нагруженного оборудования электровоза / В. П. Смирнов. – Иркутск: Изд-во иркутского гос. ун-та, 2003. – 328 с.

2. Худоногов, А. М. Анализ надежности изоляции обмоток электрических машин тягового подвижного состава с учетом особенностей климатических условий внешней среды / А. М. Худоногов, Д. А. Оленцевич, В. В. Сидоров, Е. М. Лыткина // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2009. – № 2. – С. 232–236.

3. Инструкция по ремонту завода «Ўзтемирйўлмаштамир» УК в АО «УзЖД» от 16.01.2016, № 74. – 2016. – 13 с.

4. Иванов, В. Н. Надежность электрических машин тягового подвижного состава / В. Н. Иванов, Д. В. Коноваленко, Д. А. Оленцевич, В. В. Сидоров, Е. М. Лыткина // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2008. – № 1. – С. 196–198.

УДК 556.5:556.114:001.891

Использование легочных пресноводных моллюсков для биомониторинга поверхностных вод

Чиркин А. А., Балаева-Тихомирова О. М., Кацнельсон Е. И., Пинчук П. Ю.
Витебский государственный университет им. П. М. Машерова,
Витебск, Республика Беларусь

*Легочные пресноводные моллюски *Lymnaea stagnalis* и *Planorbium corneum* чувствительны к действию неблагоприятных экологических факторов в водных средах обитания. Впервые у них описаны изменения по типу метаболического синдрома, развивающегося у человека при действии стрессовых факторов. Выявленные реакции у моллюсков могут моделировать метаболические изменения у человека от загрязненных поверхностных вод благодаря гомологии 120 ферментов у человека и моллюска *Biomphalaria glabrata*, имеющего аннотированный геном.*

С 12.04.2022 г. вступают в силу изменения в Водный кодекс Республики Беларусь. Существующая законодательная база обеспечивает надлежащий контроль за сохранением экологического и биоэкологического кон-