

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ПРИ РЕМОНТЕ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Анализ данных ОАО «РЖД» о выходе из строя тяговых электродвигателей (ТЭД) показал, что основной причиной этого является неудовлетворительная электрическая изоляция. Доля межвитковых замыканий и пробоя корпусной изоляции якоря составляет 30–40 % от общего числа неисправностей двигателя.

Снижение электрических характеристик витковой изоляции обусловлено рядом причин:

- использование некачественного провода (наличие заусенцев, трещин изоляции);
- неудовлетворительные условия хранения электроизоляционных материалов, используемых для ремонта тяговых электродвигателей;
- механические повреждения провода во время его формовки, изолировки и при укладке секции в якорь;
- отсутствие пропиточного состава между проводниками, наличие воздушных включений.

Для подтверждения причин выхода из строя ТЭД из-за пробоя витковой изоляции на ЗАО «Электроизолит» были проведены исследования по оценке эффективности на основе определения некоторых электрофизических характеристик межвитковой изоляции.

Исследования проводили на моделях (рис. 1), представляющих собой два проводника провода ПЭТВСД прямоугольного сечения $3,55 \times 7,10$ мм. Общая длина модели составила 400 мм, а длина пазовой части – 260 мм.

Для стягивания проводников между собой использовали липкую электроизоляционную ленту, которую на-

кладывали вразбежку. Подготовленную таким образом модель подвергали электрическим испытаниям по определению $U_{пр}$ между витками. В исходном состоянии среднее значение $U_{пр}$ между витками из десяти испытаний составило 8,5 кВ.

На ряде предприятий, для того, чтобы якорная секция «не рассыпалась» во время изолировки, ее пропитывают методом окунания в лак, формируют и подсушивают в печи в течение 2 часов при 100–110 °С, после чего изолируют. Такая дополнительная пропитка увеличивает $U_{пр}$ между витками. Нами проведены испытания на моделях, описанных выше, дополнительно пропитанных в компаунде Элпласт–155ИД и перед испытанием термообработанных в течение 6 часов при 160 °С.

На рис. 2 представлено распределение пробивного напряжения между витками пропитанного компаундом Элпласт (взамен лаков ФЛ–98, МЛ–92 и ГФ–95) и термообработанного провода ПЭТВСД в сравнении с непропитанным.

Среднее значение $U_{пр}$ между витками из десяти испытаний составило 16 кВ, то есть дополнительная пропитка с термообработкой увеличи-

вает $U_{пр}$ почти в 2 раза в сравнении с соответствующими значениями для непропитанного провода.

После определения $U_{пр}$ из пропитанной и непропитанной моделей была извлечена изоляция для определения содержания в ней связующего. До пропитки содержание связующего составляло 26 % (эмальлак и пропиточный состав стекловолонна), после пропитки содержание связующего увеличилось до 36 %.

Что касается технологического аспекта, то можно отметить, что дополнительная пропитка отдельной секции является еще одной операцией в цикле изготовления, секция становится довольно жесткой, что усложняет процесс ее укладки в якорь, возникают трещины в витковой изоляции, по которым и происходит пробой.

Предполагается, что при использовании для изолировки провода ПЭТВСД пропитанных стеклослюдениновых лент с максимальным содержанием связующего 30–35 % с последующей вакуум-нагнетательной пропиткой, за счет подвижности связующего в ленте возможна его миграция в межвитковую область. Пропит-

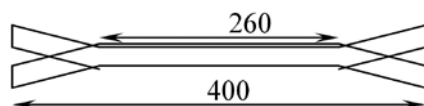
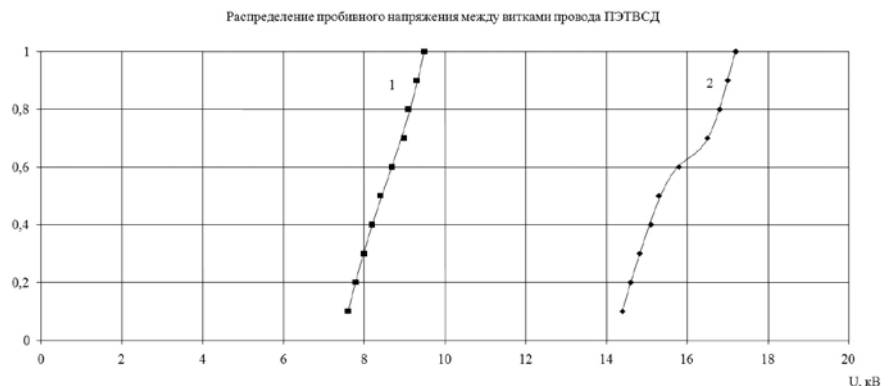


Рис. 1. Модель для определения $U_{пр}$ между витками (длина в миллиметрах)



1 – непропитанный провод ПЭТВСД

2 – пропитанный провод ПЭТВСД через изоляцию (стеклослюдениновую ленту) компаундом Элпласт и термообработанный в течение 6 часов при 160 °С

Рис. 2. Распределение $U_{пр}$ между витками провода ПЭТВСД

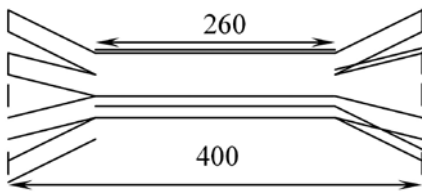


Рис. 3. Модель для определения $U_{пр}$ между витками

ка должна проводиться тем же пропиточным составом, на основе которого изготовлена пропитанная стеклослюденитовая лента.

Повышение содержания связующего в витковой изоляции провода может осуществляться следующим образом: после нанесения корпусной изоляции на секцию и ее укладки в якорь, последний не подвергается термообработке при 150 °С, а только разогревается до 60–70 °С и пропитывается по технологии вакуум-нагнетательной пропитки. Давление (8 атм) при вакуум-нагнетательной пропитке воздействует на пропиточный компаунд, который, в свою очередь, обжимает корпусную изоляцию как при гидростатической опрессовке, и то связующее, которое находится в ленте, перемещается в витковую изоляцию провода. Пропитанный таким способом якорь подвергается окончательной термообработке по режиму, указанному в технических условиях на пропиточный состав. Соответствующие испытания проведены на модели, представленной на рис. 3.

В качестве корпусной изоляции использовали стеклослюденитовую пропитанную ленту с содержанием связующего 30 %. Лента предварительно пропитана компаундом Элпласт. Ленту накладывали в 4 слоя с перекрытием в 1/2 ширины. Чтобы избежать попадания пропиточного компаунда в витковую изоляцию провода, торцы моделей герметизирова-

ли эпоксидным компаундом холодного отверждения, оставляя концы проводов для подключения к испытательной установке. Пазовую часть герметизировали фторопластовой лентой с заходом на витковую изоляцию. Модели пропитывали компаундом Элпласт по технологии вакуум-нагнетательной пропитки (остаточное давление при вакуумировании 20 мм рт. ст. в течение 0,5 часа, избыточное давление 6–8 атм в течение 1 часа). Термообработывали модели в течение 6 часов при 160 °С.

На термообработанных моделях было определено $U_{пр}$ между витками и количество связующего в изоляции провода. Среднее значение $U_{пр}$ из десяти испытаний составило ≈ 18 кВ, содержание связующего после пропитки и термообработки составило 45 %.

Различное содержание связующего в витковой изоляции на моделях с корпусной изоляцией и без нее (45 и 36 % соответственно) можно объяснить следующим образом. При пропитке якорной секции без корпусной изоляции компаунд, находящийся на витках, при разогреве начинает стекать до момента гелеобразования. Компаунд Элпласт, в отличие от эпоксидных компаундов, имеет время гелеобразования 10–15 мин при 130 °С. При таком коротком времени гелеобразования компаунд не успевают стечь с якорной секции и его значительная часть остается на витковой изоляции. При наличии корпусной изоляции компаунд, проникший до витковой изоляции, задерживается лентой, которая не позволяет вытекать при нагревании якоря (якорной секции) до температуры гелеобразования.

При пропитке витковой изоляции любым из приведенных способов одновременно происходит заполнение воздушных включений между проводниками, и это приводит к увеличе-

нию пробивного напряжения, что подтверждено данными, полученными на моделях. Кроме того, повышается теплопроводность изоляции как между витками, так и в направлении к корпусной изоляции. Теплопроводность непропитанной витковой изоляции (стеклонити) с ростом температуры от 0 до 225 °С увеличивается от 0,045 до 0,09 Вт/(м·°С) соответственно. После пропитки компаундом теплопроводность витковой изоляции в том же температурном диапазоне возрастает от 0,07 до 0,14 Вт/(м·°С).

На рис. 4 показано, что теплопроводность витковой изоляции при повышении температуры увеличивается, и, следовательно, появляется возможность увеличения мощности электрической машины в среднем на 20 % (предварительный расчет). Однако однозначное утверждение можно будет сделать только после исследования тепловых и электрофизических характеристик корпусной изоляции, изготовленной на основе новых электроизоляционных материалов (пропиточный состав – Элпласт, стеклослюденитовые ленты – Элизтерм или Элпор).

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Выход из строя ТЭД по причине межвиткового замыкания может зависеть от качества применяемого провода ПЭТВСД (влажная изоляция провода, наличие заусенцев) и повреждаемости при формовке, изолировке и укладке.

2. Пропитка витковой изоляции необходима минимум по двум причинам: во-первых, значительно увеличивается пробивное напряжение между витками; во-вторых, пропитка снижает количество воздушных включений в изоляции между витками, тем самым повышается теплопроводность витковой изоляции. Появляется возможность увеличения мощности электрической машины (по предварительным расчетам примерно на 20 %).

3. Вакуум-нагнетательная пропитка нетермообработанного (разогретого до 80 °С) якоря представляется наиболее оптимальной при ремонте тяговых электродвигателей. Нет необходимости в отдельной пропитке якорных секций, поскольку якорная секция обладает достаточной гибкостью. Это позволяет без особых усилий и повреждений витковой изоляции укладывать ее в якорь. Возникающие повреждения витковой изоляции (как правило, это трещины) заполняются компаундом, то есть происходит восстановление характеристик витковой изоляции.

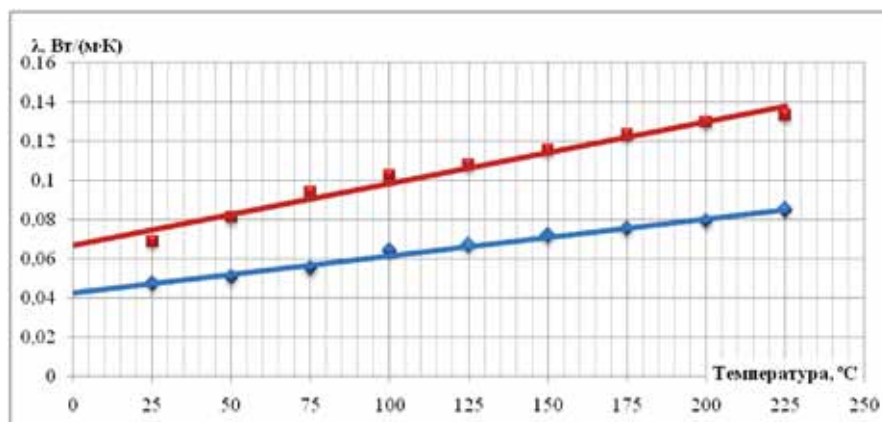


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплопроводности витковой изоляции от температуры провода ПЭТВСД