

Согласно полученным данным видно, что при использовании полиимидной пленки, имеющей толщину равную 25 мкм, при напряжении электрического старения равном 21 кВ, влияние объемного заряда электрета на время развития пробоя практически не проявляется. Можно предположить, что это связано с тем, что пробой происходит с выходом разряда на поверхность с последующим перекрытием разрядного промежутка по поверхности материала [5]. Поскольку полиимидная пленка представляет собой однородный материал, не имеющий границы раздела в объеме, то электретный заряд формируется только на поверхности пленки, что и определяет выход разряда на поверхность с последующим развитием разряда по воздушному промежутку.

В случае образцов имидофлекса, толщиной 200 мкм, имеющего трехслойную структуру (полиимидная пленка, стеклоткань, полиимидная пленка), практически во всех случаях развитие разряда наблюдается на границе раздела слоев [5]. Можно отметить, что при значениях приложенного напряжения равного 26 кВ, наблюдается значительное различие времени развития пробоя образцов в исходном состоянии и образцов с наведенным электретным зарядом. Причем, следует отметить, что величина объемного заряда также оказывает влияние на время до пробоя. Как видно из таблицы 1, чем выше значение наведенного электретного заряда, тем меньше время развития разряда. С ростом приложенного напряжения влияние величины объемного заряда уменьшается. Из приведенных результатов времени до пробоя при различных значениях объемного заряда видно, что образцы с зарядом имеют меньшее время развития разряда, однако величина объемного заряда не оказывает существенного влияния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Почивалова А.В. Исследование разряда на границе раздела твердых диэлектриков. ВКР – Томск, 2006. – 126 с.
2. Сажин Б.И., Лобанов А.М., Романовская О.С. и др. Электрические свойства полимеров. Под ред. Б.И. Сажина. – Л.: Химия, 1986. – 224 с., ил.
3. Похолков Ю.П., Меркулов В.И., Петров А.В. Физика диэлектриков Лабораторный практикум. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 132 с.
4. Карпицкий О.В. Особенности развития разряда на границе раздела твердых слоистых диэлектриков при длительном воздействии приложенного напряжения - Томск: ТПУ, 2010 - т. 1. - с. 60-64.
5. Электрофизические проблемы применения твердых и комбинированных диэлектриков в технике высоких напряжений. Изд-во «Наука». Сибирское отделение. Новосибирск, 1974.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ОБМОТОК

Супуева А.С., Бекк П.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Опыт эксплуатации и многочисленные исследования не оставляют сомнений в том факте, что самым слабым с точки зрения надежности элементом низковольтной электрической машины является система изоляции. Согласно литературным данным, от 70% до 90% всех отказов происходят из-за пробоя межвитковой изоляции. Эксплуатационные перенапряжения не опасны для неповрежденной изоляции

низковольтных обмоток. Как правило, пробой происходит в том случае, если в изоляции имеются сквозные повреждения (дефекты).

Анализ условий производства и эксплуатации низковольтных электрических машин показывает: износ изоляции и образование дефектов происходит в результате сочетания воздействующих нагрузок (технологических и эксплуатационных), конструктивных параметров обмотки и совместимости компонентов системы изоляции (рис. 1).

Вопросами надежности систем изоляции низковольтных обмоток занимался ряд коллективов под руководством таких ученых как Гольдберг О.Д., Похолков Ю.П., Галушко А.И., Бернштейн Л.М. и др. В этих работах описаны критерии и механизмы отказа низковольтных обмоток, предложены способы испытаний электроизоляционных материалов и обмоточных проводов, разработаны математические модели и методы для определения и обеспечения показателей надежности.

В то же время, несмотря на большой научно-практический задел, существует ряд нерешенных проблем:

- существующие методы контроля качества обмоточных проводов не дают количественной оценки механической прочности изоляции, получаемые результаты условны и имеют большую погрешность;
- отсутствуют методы определения величины адгезии в системе межвитковой изоляции с последующей оценкой её влияния на процессы дефектообразования;
- нет точных рекомендаций по быстрому прогнозированию уровня надежности электроизоляционной системы обмоток в процессе эксплуатации.

В работе сделана попытка найти способ решения указанных задач.

В качестве объектов исследования выбраны современные эмалированные провода и пропиточные составы, применяющиеся при производстве низковольтных электрических машин.

При входном контроле эмалированных проводов предпочтительнее оценивать механические характеристики. Существующие методы определения электрических характеристик дают информацию лишь о величине пробивного напряжения изоляции провода [2]. На сегодняшний день основной вид испытаний для контролирования качества изоляции эмалированных проводов является метод оценки механической прочности по числу двойных ходов иглы по поверхности провода до окончания истирания изоляции образца [1]. Главными недостатками данного метода, является малая статистическая устойчивость данных, также невозможность получения информации о дефектности λ испытываемого образца и качестве изоляции на всей длине эмалированного провода. Метод испытаний дает очень большой разброс результатов в силу его высокой чувствительности к случайным колебаниям условий испытаний: разбросу по диаметру иглы, разбросу по диаметру жилы, аккуратности балансировки коромысла и т.д. Кроме того для проведения испытаний необходимо специфическое и технически сложно реализуемое оборудование.

В работе предлагается метод определения дефектности λ изоляции эмалированных проводов в электролите [4]. Определено качество изоляции эмалированного провода в состоянии поставки, затем после имитации технологических воздействий: растяжение, изгиб, воздействие растворителя и температуры (таблица №1,2). И на основе полученных результатов сделаны выводы о качестве изоляции эмалированного провода.

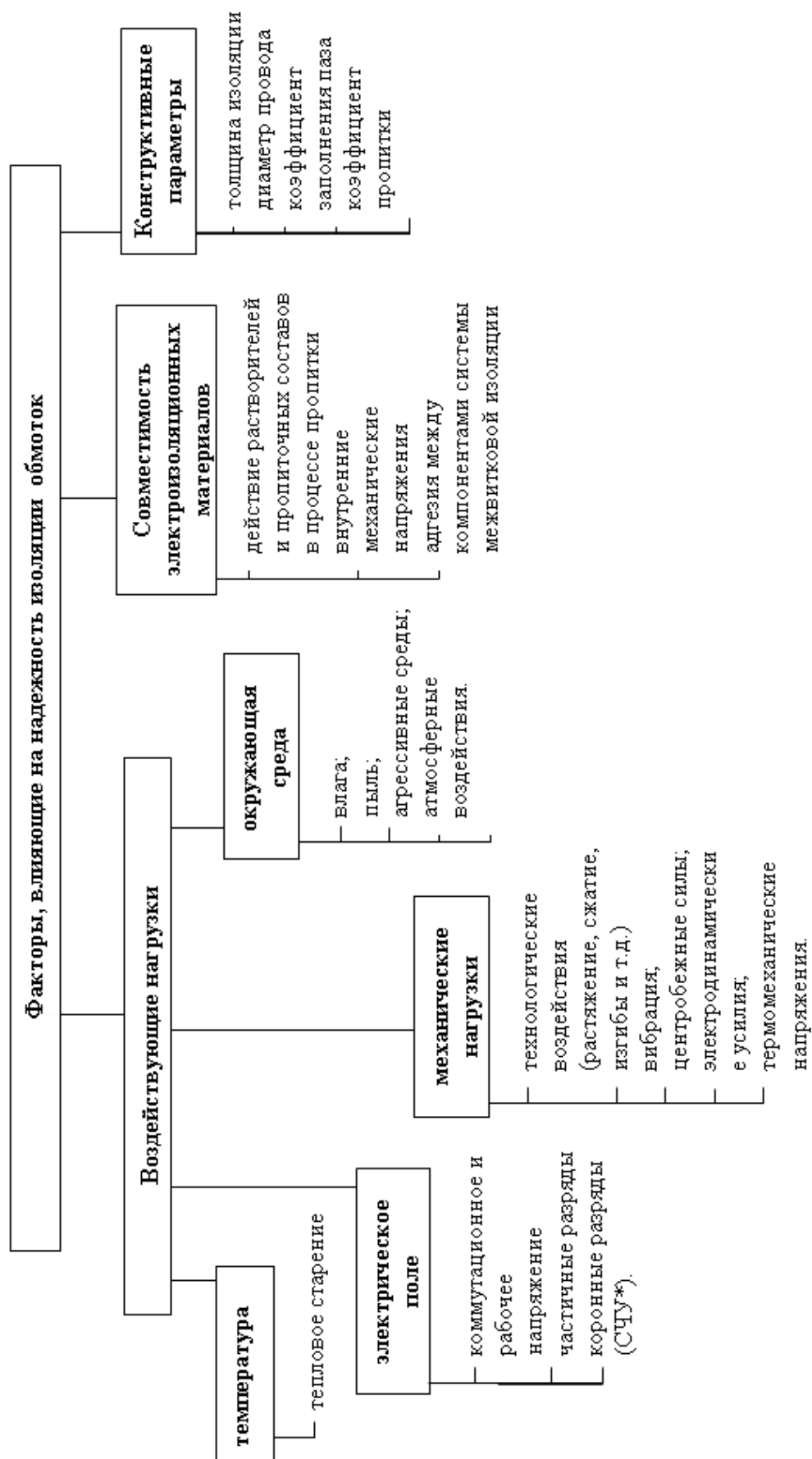


Рис. 1. Общая схема нагрузок и факторов, определяющих надежность изоляции обмоток.

Таблица 1. Результаты испытаний после имитации технологических воздействий (растяжение и изгиб)

Марка провода	Провод после имитации технологических воздействий							
	В состоянии поставки		3% растяжения		5% растяжения		7%растяжения	
	q	$\lambda, 1/мм$	q	$\lambda, 1/мм$	q	$\lambda, 1/мм$	q	$\lambda, 1/мм$
ПЭЭА-155	3	0,0001	3	0,0001	40	0,00133	450	0,115
ПЭТ-155	0	0	0	0	0	0	10	0,0004
ПЭТД-180	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 2. Результаты испытаний после имитации технологических воздействий (растяжение, воздействие растворителя (ксилол) и температуры ($T=60\text{°C}$)).

Марка провода	Провод после имитации технологических воздействий							
	В состоянии поставки		3% растяжения		5% растяжения		7%растяжения	
	q	$\lambda, 1/мм$	q	$\lambda, 1/мм$	q	$\lambda, 1/мм$	q	$\lambda, 1/мм$
ПЭЭА-155	90	0,0036	104	0,0002	131	0,00524	190	0,0076
ПЭТ-155	0	0	3	0,00012	7	0,00028	13	0,00036
ПЭТД-180	4	0,00016	5	0,0002	8	0,00032	7	0,00028

Исследуемые провода показали хорошую механическую прочность изоляции, т.к. величина λ ниже 0,03, что обуславливает малую вероятность совпадения дефектов P_e и высокую надежность межвитковой изоляции.

Достоинства данного метода заключается в том, что он позволяет определить точное количество дефектов q , которые можно использовать для оценки вероятности сквозных повреждений [4]. Основные преимущества: простота методики, проведение испытаний не требует дорогостоящего оборудования.

Оценка технологической устойчивости изоляции дает информацию о качестве исследуемого эмалированного провода, но для создания надежной изоляции не достаточно исследовать обмоточный провод как таковой. Важно знать его технологические и эксплуатационные свойства в системе изоляции, так как свойства системы изоляции могут отличаться от свойств материалов, составляющих её.

Эксплуатационная надежность системы изоляции определяется, прежде всего, величиной адгезии между её компонентами. В случае высокой адгезии процессы разрушения изоляции и образование сквозных дефектов значительно ускоряются в связи с повышением вероятности развития трещин из пропиточного состава в эмалевую изоляцию [3].

К сожалению, существующие в настоящее время методы определения работы адгезии W_a полимерных пленок в большинстве случаев не применимы для систем межвитковой изоляции, в ряде случаев полученные результаты условны, при проведении измерений учитываются существенные допущения, значительно снижающие точность полученных результатов [3].

Решение проблемы определения величины W_a возможно путем расчета свободных поверхностных энергий пропиточного состава γ_L , эмалевой изоляции провода γ_S и их межфазной поверхностной энергии γ_{LS} , с последующим вычислением W_a [3]:

$$W_a = \gamma_L + \gamma_S - \gamma_{LS} \quad (1)$$

Свободные поверхностные энергии двух контактирующих полимерных материалов определяются главным образом дисперсионной γ^d и полярной γ^h составляющими:

$$\gamma = \gamma^d + \gamma^h$$

Авторами Каган Д.Ф., Гуль В.Е. предложено определение γ_S , γ_L из системы уравнений (2) и γ_{LS} из уравнения(3)

$$\begin{cases} \gamma_{\text{вода}} = 2\left(\sqrt{\gamma_{S(L)}^d \gamma_{L\sigma}^d} + \sqrt{\gamma_{S(L)}^h \gamma_{L\sigma}^h}\right) \\ \gamma_{\text{глиц}} = 2\left(\sqrt{\gamma_{S(L)}^d \gamma_{L\epsilon}^d} + \sqrt{\gamma_{S(L)}^h \gamma_{L\epsilon}^h}\right) \end{cases} \quad (2)$$

$$\gamma_{LS} = \gamma_L + \gamma_S - 2\sqrt{\gamma_{LS}^d \cdot \gamma_{SS}^d} + 2\sqrt{\gamma_{LS}^h \cdot \gamma_{SS}^h} \quad (3)$$

где, $\gamma_{\text{вода}}$, $\gamma_{\text{глиц}}$ – энергия смачивания воды и глицерина к компонентам системы межвитковой изоляции; $\gamma_{L\sigma}^d$, $\gamma_{L\epsilon}^d$, $\gamma_{L\sigma}^h$, $\gamma_{L\epsilon}^h$ – справочные данные дисперсионных и полярных составляющих свободных поверхностных энергий воды и глицерина [3].

Подставляя полученные результаты в уравнение 1, находим W_a .

Сопоставление величин W_a и скоростей дефектообразования для исследуемых систем межвитковой изоляции показало: с увеличением работы адгезии увеличивается скорость дефектообразования [3,4]. Это связано с увеличением вероятности развития сквозного дефекта в системе «пропиточный состав – эмалированный провод».

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы:

1. Определение технологической устойчивости эмалированных проводов в электролите позволяет получить полную информацию о качестве провода на всей длине и оценить стойкость изоляции к технологическим нагрузкам.

2. Целесообразность совместного использования компонентов межвитковой изоляции можно определять с учетом W_a . Это дает возможность прогнозировать скорость дефектообразования H_e в композициях «пропиточный состав – эмалированный провод».

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р МЭК 60851-3 – 2002. Провода обмоточные. Методы испытаний. Часть 3. Механические свойства.
2. ГОСТ Р МЭК 60851-5 – 2008. Провода обмоточные. Методы испытаний. Часть 5. Электрические свойства.
3. Леонов А.П., Супуева А.С. Определение работы адгезии в системе межвитковой изоляции // Науковедение. 2013. № 3. с. 1-5.
4. ОСТ 16.0800.821-88 «Определение дефектности эмалированных проводов в электролите и дроби».

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КЛАССИЧЕСКОГО МЕТОДА РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С РЕЗУЛЬТАТАМИ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ ELCUT

Асланян Р.О., Рапопорт О.Л.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В первых появившихся локомотивах основным элементом энергетической цепи был тяговый электродвигатель постоянного тока, благодаря электромеханической