

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПРОПИТКИ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ОБМОТОК

А.Н.Дудкин, А.П. Леонов, А.С. Супуева
Национальный исследовательский Томский
политехнический университет
Энергетический институт
Кафедра электромеханических комплексов и материалов

Окончательное формирование основных эксплуатационных свойств изоляции низковольтных обмоток происходит только после пропитки и термообработки. Пропиткой принято называть процесс заполнения обмотки и ее изолировку специальными лаками или составами с последующей запечкой. В этом случае воздушные включения и пустоты в обмотках и изоляции заполняются лаками, что приближает ее конструкцию к монолиту. Пропитку производят составами без растворителей или лаками на основе растворителей с содержанием пленкообразующих веществ от 35 до 70% в зависимости от лака и технологии пропитки. Пропитка значительно замедляет процессы теплового старения и увлажнения электроизоляционных материалов, так как уменьшается площадь их соприкосновения с окружающей средой. Так же электрическая прочность изоляции вследствие заполнения пор и капилляров обмотки лаками, имеющими более высокую электрическую прочность, чем воздух. Кроме того снижается превышение температуры обмоток, так как теплопроводность лаков намного выше теплопроводности воздуха. Цементируя витки обмоток, пропитка снижает механический износ их изоляции. При выборе пропиточного лака учитывают класс нагревостойкости изоляции машины и применяемые электроизоляционные материалы для витковой и корпусной изоляции.

Главным образом пропитка характеризуется замещением воздуха из свободного пространства обмотки пропиточным составом. В связи с этим важно определить режимы пропитки, обеспечивающие максимальную насыщенность обмотки пропиточным составом.

В процессе пропитки объемный поток пропиточного состава с некоторой скоростью движется по поровым каналам обмотки. Обмотку асинхронного двигателя в гидродинамическом отношении можно представить как капиллярную среду с некоторым коэффициентом проницаемости.

Известно, что условия проникновения пропиточного состава в обмотку при ее пропитке существенно зависят от таких физико-химических характеристик пропиточных составов, как: энергия смачивания пропиточными составами изоляции обмоточных проводов W_3 ; коэффициента поверхностного натяжения $\sigma_{жсг}$; краевого угла смачивания $\cos\theta$; плотности и вязкости пропиточных составов [1].

Насыщенность обмотки пропиточным составом может быть охарактеризована коэффициентом заполнения свободного пространства K_{np} между проводниками обмотки пропиточным составом, который равен отношению объема пропиточного состава, сохранившегося в обмотке после её пропитки, к общему объему поровых каналов обмотки:

$$K_{np} = 1 - \left(1 - \frac{P_K}{\rho g l_{обм} \sin \alpha} \right) \cdot \left[1 - \frac{8,288 \cdot K_3 \cdot (1 + 0,66A)}{(4 - \pi K_3)} \right] \quad (1)$$

где ρ – плотность пропиточного состава [кг/м³]; P_K – давление, обусловленное действием капиллярных сил [Н/м²]; $l_{обм}$ – длина полувитка обмоточной катушки [м]; g – ускорение силы тяжести [м/с²]; K_3 – коэффициент заполнения,

$$A = \left[\frac{K}{\sigma} \cdot \frac{(l_{обм} \cdot \rho g \sin \alpha - P_K) \cdot \rho g \sin \alpha}{(l_{обм} \cdot \rho g \sin \alpha + P_K)} \right]^{2/3}$$

Время, необходимое для полного заполнения пропиточным составом всех пор и капилляров обмотки при струйном методе пропитки определяется по выражению:

$$\tau = \frac{v l_{об.м}}{Kg \sin \alpha} \left[1 + \frac{P_k}{\rho g l_{об.м} \sin \alpha} \ln \left| \frac{P_k}{P_k + \rho g l_{об.м} \sin \alpha} \right| \right] \quad (2)$$

где $v = \frac{\eta}{\rho}$ – кинематическая вязкость пропиточного состава [$\text{м}^2/\text{с}$]; K – коэффициент проницаемости обмотки [м^2]; α – угол наклона поровых каналов к горизонту, $\alpha=30^\circ\text{С}$.

По методу погружения:

$$\tau = \frac{l_{об.м} \sin \alpha}{v} = \frac{l_{об.м} v}{Kg} \quad (3)$$

В работе определены величины энергии смачивания, коэффициента поверхностного натяжения и краевого угла смачивания методом погружения. Определение вязкости пропиточных составов производилось при помощи ротационного вискозиметра Brookfield по ГОСТ 1929-87. Определение плотности пропиточных составов производилось косвенным методом измерения – методом взвешивания.

В качестве объектов исследования выбраны перспективные пропиточные составы марок: КП-50, КП-55-5, КП-200.

Компаунд пропиточный марки КП-50 представляет собой смесь полимеризационноспособных олигомеров с целевыми добавками, не содержащую растворителей; класс нагревостойкости Р.

Компаунд пропиточный марки КП-55-5 на основе полиэфиров, модифицированных кремнийорганическими смолами, стабилизаторами, пластификаторами и регуляторами адгезии, рекомендуется для пропитки электрооборудования методом погружения или вакуум-нагнетательной пропитки с изоляцией класса нагревостойкости В и F.

Нагревостойкий пропиточный компаунд марки КП-200 на основе полиорганосилоксанов с целевыми добавками предназначен для пропитки обмоток электрических машин методом погружения с изоляцией класса нагревостойкости Р.

Смачивающие свойства определялись к эмалированным проводам марок: ПЭТ-155, ПЭТД-180, ПЭТД2-К-180.

Используя полученные значения по выражениям 1-3 рассчитаны коэффициенты пропитки $K_{пр}$ для типовой обмотки асинхронного двигателя серии А4.

Расчет проведен двух методов пропитки – струйного и погружением для трех температур: 20°С , 40°С и 60°С .

Заключение

Результаты расчетов позволяют отметить: максимальный коэффициент пропитки $K_{пр}=0.498$ отмечен для композиции ПЭТД-180 – КП-55-5 при пропитке методом погружения при температуре 60°С . При таких условиях достигается наиболее оптимальное сочетание времени и качества пропитки. Высокое значение $K_{пр}$ исключит наличие пустот как потенциальных ослабленных мест в системе изоляции.

Полученные результаты будут использованы как основа для разработки практических рекомендаций по определению и выбору режимов пропитки низковольтных обмоток. Работа выполнена при технической поддержке ЗАО «Дельтапласт», г. Москва.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дудкин А.Н. Разработка методов оценки режимов пропитки обмоток асинхронных электродвигателей: диссертация на соискательство ученой степени кандидата технических наук / ТПИ. Томск, 1980г. 208с.

Научный руководитель: А.П. Леонов, к.т.н., доцент кафедры электромеханических комплексов и материалов.