

## ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА ЭПОКСИДНЫЙ КОМПАУНД ГОРЯЧЕГО ОТВЕРЖДЕНИЯ

Р. М. КЕССЕНИХ, Ю. П. ПОХОЛКОВ

Как известно, в полимерных системах наблюдается активированная форма сорбции влаги (диффузия). В результате теплового движения звенья макромолекул образуют в полимере «микророзности» разных размеров и поэтому молекулы воды могут внедряться и закрепляться в них благодаря Ван-дер Ваальсовым силам [1]. Естественно, что внедрение молекулы в полимер связано с затратой энергии, т. е. с энергией активации. В связи с этим диффузия влаги должна зависеть от температуры. Увеличение температуры обуславливает увеличение диффузии влаги. При использовании эпоксидных компаундов в условиях повышенной относительной влажности, в условиях воздействия морской воды и др. необходимо иметь представление об изменении электрических свойств от времени воздействия тяжелых климатических условий.

Нами применялся эпоксидный компаунд горячего отверждения (смола ЭД-6, отвердитель — фталевый ангидрид) для заливки обмоток якорей низковольтных электрических машин постоянного тока. Указанные электрические машины по условиям работы подвергаются воздействию тропического климата, морской воды и морского тумана. Эпоксидные компаунды горячего отверждения имеют большую степень сшивки, чем компаунды холодного отверждения. Вследствие этого сегменты цепей между сшивками обладают меньшей подвижностью, что способствует менее интенсивному процессу активированной диффузии. Таким образом, эпоксидный компаунд горячего отверждения должен обладать достаточно хорошей влагостойкостью [2]. Результаты эксперимента подтверждают сказанное.

Изучение влияния климатических условий на электрические свойства проводилось на моделях обмоток якорей с коллекторами. Исследуемые объекты помещались в специальные климатические камеры (тропическая камера, камера морского тумана и морской воды). Для получения сравнительных данных одновременно изучалось влияние влаги на обмотки, залитые эпоксидным компаундом, и на обмотки, пропитанные в лаке 447.

В табл. 1 сведены данные по изучению диэлектрических характеристик моделей после воздействия тропического климата (влажность 98% при  $t = +55^\circ\text{C}$ ). Из этой таблицы следует, что якоря с коллектором, залитые эпоксидным компаундом, мало изменяют свои электрические свойства, в то время как у якорей, пропитанных лаком 447, сопротивле-

ние изоляции снижается на три порядка, тангенс угла диэлектрических потерь увеличивается на два порядка, а емкость увеличивается примерно в 2,5 раза. Диэлектрические свойства пропитанной изоляции лаком 447 также значительно ухудшаются при повышении температуры от 20 до 55°C в условиях повышенной влажности.

Таблица 1

Название пропиточного или заливочного состава	Температура, °C	Исходное состояние			Спустя 176 часов воздействия тропического климата		
		$R, \text{ом}$	$\text{tg } \delta$	$C, \text{нф}$	$R, \text{ом}$	$\text{tg } \delta$	$C, \text{нф}$
Лак 447	20	$3,14 \cdot 10^{12}$	0,007	174	$3,4 \cdot 10^9$	0,28	470
	50	$8,1 \cdot 10^{11}$	0,013	210	$7,3 \cdot 10^8$	0,55	620
Эпоксидный компаунд горячего отверждения	20	$2,3 \cdot 10^{12}$	0,003	189	$7 \cdot 10^{11}$	0,056	200
	50	$1 \cdot 10^{12}$	0,008	230	$1,3 \cdot 10^{11}$	0,081	220

Пробивное напряжение при технической частоте исследуемых объектов после пребывания в указанных выше условиях оказалось больше в два раза для моделей, залитых эпоксидным компаундом (табл. 2).

Таблица 2

Пропиточный или заливочный состав	Лак 447	Эпоксидный компаунд горячего отверждения
$U_{пр}, \text{кв}$ (среднее значение спустя 200 часов воздействия тропического климата)	3,45	7,20

После воздействия морской воды и морского тумана на обмотки якорей (табл. 3) наибольшее ухудшение электрических свойств наблюдается у обмоток, пропитанных лаком 447. Из полученных результатов видно, что эпоксидный компаунд горячего отверждения может обеспечить надежную эксплуатацию электрической машины в тяжелых климатических условиях. В этом случае лаковая пленка, имеющая капиллярно-

Таблица 3

Заливочный или пропиточный состав	Исходные соединения			Спустя 250 часов воздействия морской воды			Спустя 600 часов воздействия морского тумана		
	$R, \text{ом}$	$\text{tg } \delta$	$C_1, \text{нф}$	$R, \text{ом}$	$\text{tg } \delta$	$C_1, \text{нф}$	$R_1, \text{ом}$	$\text{tg } \delta$	$C_1, \text{нф}$
Лак 447	$1 \cdot 10^{13}$	0,05	110	$8 \cdot 10^9$	0,28	680	$2 \cdot 10^{11}$	0,25	235
Эпоксидный компаунд горячего отверждения	$5 \cdot 10^{12}$	0,01	150	$3 \cdot 10^{12}$	0,04	160	$2,5 \cdot 10^{12}$	0,15	165

пористую структуру, способствует достаточно быстрому проникновению влаги в объем конструкции. Эпоксидный компаунд представляет собой литую изоляцию, отверждающуюся без выделения побочных продуктов. Это обстоятельство позволяет получать монолитную структуру с термоактивными свойствами. Поэтому такой тип изоляции должен значительно увеличивать надежность эксплуатации. Предложенный заливочный компаунд одновременно выполняет и роль пропиточного, обеспечивая при этом хорошую монолитность. Рабочая температура обмоток якорей не должна превышать 140°C. Тепловибрационное старение дает возможность считать, что при указанной рабочей температуре (140°C) срок жизни изделия должен быть более 10000 часов. Для практического осуществления заливки обмоток якорей специальных электрических машин эпоксидным компаундом необходима коренная перестройка технологического процесса, применяемого на некоторых заводах (технология пропитки в лаках) и значительное повышение культуры производства с одновременным строгим соблюдением техники безопасности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. М. Михайлов. Влагопроницаемость органических диэлектриков. Госэнергоиздат, 1960.
  2. H. Magsal und S. Slarinka. Электрические свойства эпоксидных смол при воздействии влажности у. *Elektrikal*, № 1, 1962, Heft I.
-