

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ВОЛОКНИСТОЙ  
ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОЧНОГО ПРОВОДА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ  
ВСЫПНЫХ ОБМОТОК**

И. А. ВОЛКОМИРСКИЙ, А. Я. ЦИРУЛИК

(Представлена научным семинаром кафедры электрических машин)

Методика расчета надежности изоляции всыпных обмоток асинхронных двигателей [1] основана на понятии «дефекта» изоляции. Под дефектом изоляции понимается элементарный участок изоляции, пробивное напряжение которого соответствует напряжению перекрытия на длине, равной толщине изоляции (трещины в изоляции провода, царапины и т. п.). Дефектностью называется число дефектов на единице длины или площади изоляции. Дефект имеет место в состоянии поставки, возникает в процессе изготовления обмотки и образуется в результате старения при работе машины.

Для проводов с эмалевой изоляцией влияние технологии изготовления обмоток на дефектообразование достаточно хорошо изучено. Представляет интерес выяснить и оценить количественно повреждаемость волокнистой изоляции марки ПСДКТ, широко применяемой в электромашиностроении. Был выполнен эксперимент, в котором было испытано пять партий проводников длиной 150 мм по 200 штук в каждой партии, нарезанных из провода марки ПСДКТ, взятого с одной катушки. Проводники первой партии не имели повреждения изоляции. Изоляция проводников второй партии повреждалась искусственно нанесением продольной царапины ножом на всей длине проводника. Изоляция третьей партии проводников повреждалась поперечными надрезами до меди. Указанные повреждения имитируют технологические повреждения изоляции при укладке обмотки в пазы якоря. Для выявления степени пропитываемости волокнистой изоляции пропитывающим лаком две следующие партии проводников пропитывались в лаке К-47 и высушивались. После пропитки перед сушкой все проводники тщательно протирались ветошью для снятия поверхностной пленки лака, так как цель эксперимента — выяснить, проникает ли лак в поры изоляции и делает ли ее монолитной. После просушивания пятая партия проводников повреждалась нанесением продольной царапины.

Каждая партия проводников испытана на пробной изоляции переменным напряжением частотой 50 1/сек в электродах проводник — дробь. Длина испытуемого образца равнялась 100 мм. Распределения пробивных напряжений показаны на рис. 1. По результатам эксперимента для каждой партии проводников вычислены средние значения  $\bar{U}$ , средние квадратические отклонения  $\sigma$  и коэффициенты вариации  $v$  пробивных напряжений витковой изоляции, значения которых приведены в табл. 1.



№ партии	Характеристика партии	$\bar{U}, \text{в}$	$\sigma, \text{в}$	$v$
1	Непропитанный неповрежденный провод	756,5	70,5	0,093
2	Непропитанный поврежденный провод (продольная царапина)	737,2	66,0	0,090
3	Непропитанный провод с надрезами изоляции	731,2	61,4	0,084
4	Пропитанный неповрежденный провод	1345	513	0,381
5	Пропитанный поврежденный провод (продольная царапина)	621,0	121	0,195

Как видно из рис. 1, а, б, в и из табл. 1, повреждения изоляции практически не приводят к снижению характеристик распределения пробивных напряжений. Это значит, что и неповрежденная изоляция имеет многочисленные воздушные пути от поверхности до провода, а пробивное напряжение витковой волокнистой изоляции есть напряжение перекрытия воздушного мостика от поверхности изоляции до провода. Так как степень повреждения изоляции в эксперименте намного превышала возможную степень повреждения изоляции в техпроцессе изготовления обмотки, и в этих условиях пробивное напряжение изоляции не снизилось, в реальном техпроцессе волокнистая изоляция обмоточного провода не чувствительна к технологическим повреждениям. В связи с этим для получения данных о дефектности изоляции провода при расчете надежности обмоток нет необходимости испытывать провод, вынутый из пазов якоря. Можно испытать провод в состоянии поставки, так как он имеет практически такие же характеристики изоляции, как и провод, вынутый из пазов.

Рис. 1, д и данные табл. 1 для четвертой партии проводников показывают, что многие проводники имеют пробивное напряжение изо-

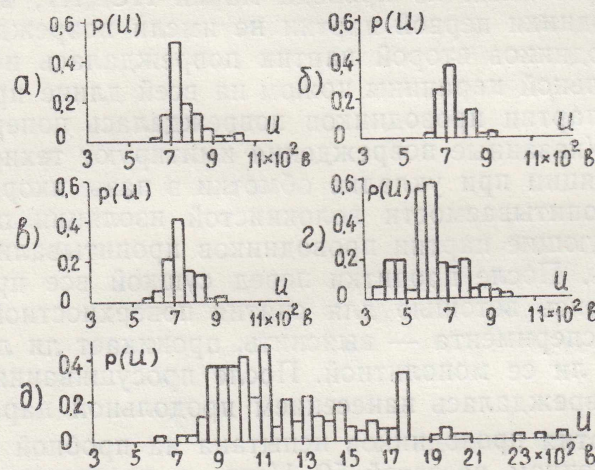


Рис. 1. Гистограммы распределения пробивных напряжений изоляции провода ПСДКТ: а) для неповрежденного провода; б) для провода с продольной царапиной по всей длине; в) для провода с порезами изоляции; г) для пропитанного провода с продольной царапиной по всей длине; д) для пропитанного неповрежденного провода.



ляции не выше, чем непропитанный провод. Это значит, что лак не заполнил поры изоляции. Повышение среднего значения и дисперсии пробивного напряжения связано с образованием пленки лака на поверхности изоляции. На рис. 1, д показана часть гистограммы. Отдельные выбросы гистограммы имеются при напряжении до 3,5 кв. Пятая партия проводников имела продольную царапину, то есть поверхностная пленка лака была разрушена. Как видно из рис. 1, г, распределение пробивных напряжений имеет при этом несколько худшие параметры, чем это имело место для непропитанного провода. Следовательно, лак не проник в поры волокнистой изоляции и не сделал ее монолитной. Наличие многочисленных пор в слое волокнистой изоляции обмоточного провода как до пропитки, так и после пропитки требует уточнения понятия «дефектности» изоляции такого провода, для чего требуются дополнительные исследования.

Анализ влияния технологии обмоточных работ на качество витковой изоляции проводов ПСДКТ производился на заводе «Электромашина» с последующим испытанием проводов в лаборатории надежности кафедры электрических машин ТПИ. Образцы провода одной партии отбирались в состоянии поставки, после укладки обмотки в пазы до бандажировки лобовых частей якоря и после бандажировки. Исследования проводились на якорях машин П32 и П52. Извлечение провода из пазов якоря производилось методом, исключаящим дополнительное повреждение изоляции провода: с одной стороны лобовая часть обмотки разрезалась и отгибалась. Секции вынимались из пазов вместе с пазовыми коробочками. Из вынутого провода нарезались образцы длиной 150 мм из пазовых частей секций и целой лобовой части. Испытания изоляции проводилось в электродах провод — дробь. Результаты испытаний представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

	Характеристика распределения пробивных напряжений	Этап техпроцесса		
		Провод в состоянии поставки	Провод из якоря до бандажировки	Провод из якоря после бандажировки
Провод $\varnothing$ 1,0 мм	Среднее значение пробивного напряжения, в	924,6±2,4	921,7±2,4	919,6±2,5
	Среднее квадратическое отклонение пробивного напряжения, в	47,8±1,69	42,1±1,72	50,2±1,78
Провод $\varnothing$ 1,45 мм	Среднее значение пробивного напряжения, в	952,5±2,9	951,3±2,6	945 ±2,9
	Среднее квадратическое отклонение пробивного напряжения, в	59,7±2,06	45,8±1,85	51,0±2,10



Данные табл. 2 показывают, что технологические процессы укладки секций в лапы и бандажировки лобовых частей не приводят к появлению дефектов изоляции провода марки ПСДКТ. В отличие от эмалевой изоляции волокнистая изоляция мало чувствительна к воздействию инструмента, используемого при укладке обмотки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Руководящие технические материалы. Двигатели трехфазные асинхронные общего применения мощностью от 0,12 до 100 квт. Расчет надежности верхних обмоток. ОАА.682.022-71.

Таблица 2

Этап технологического процесса	Количество дефектов		Процент брака
	всего	на 1000 м	
Укладка секций в лапы	12	12	0,12
Бандажировка лобовых частей	15	15	0,15
Итого	27	27	0,27