6. Смирнов А.И. Композитные материалы для подшипников и корпусных элементов электрических машин. – Казань: Казанский университет, 2021. – 180 с.
7. Михайлов Е.В. Нанотехнологии в материалах для электрических приводов: Применение и перспективы. – М.: Энергетика, 2022. – 220 с.
8. Ковалев П.Г. Технологии создания наноматериалов для улучшения проводимости и теплопроводности. – Томск: Томский политехнический университет, 2021. – 250 с.
9. Александров И.В. Современные подходы к использованию наноматериалов в электрических машинах и приводах. – СПб.: Научная книга, 2019. – 180 с.
10. Федорова Л.В. Материалы и технологии для повышения энергоэффективности электрических приводов. – М.: ИТИС, 2020. – 220 с.

ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ ЭЛЕКТОРИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ К ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ НАГРУЗКАМ

Ю.В. Мурашко

Томский политехнический университет, ИШЭ, ОЭЭ, группа 5АМ33

Научный руководитель: А.П. Леонов, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Электроизоляционные материалы и обмоточные провода довольно распространены в настоящее время. Одними из наиболее часто применяемых на производстве изделий являются изоляционные трубки марки Витур Т 0433-85, получаемые из термопластичного полиуретана методом экструзии. Предназначаются для изоляции контактов разъемов. Кроме того, также довольно востребованы обмоточные провода марки ПЭТ-155, предназначенные для изготовления обмоток электродвигателей, генераторов, катушек. В связи с широкой распространенностью данных материалов необходим контроль их качества с целью выявления непригодности для производства [1, 2].

Методы испытаний трубки марки Витур Т 0433-85 включают в себя несколько этапов. Сначала оценивается внешний вид изделия. Наружная и внутренняя поверхности трубки должны быть гладкими, без посторонних включений, не допускаются пузыри, трещины, надломы. Допускаются незначительная рябь и полосы, не выводящие толщину стенки за допустимые пределы. Затем измеряют внутренний диаметр трубки при помощи металлических стержней подходящих размеров, зависящих от диаметра изделия. Определяют толщину стенки при помощи штангенциркуля. Полученные в ходе измерений внутренний диаметр и толщина стенки не должны выходить за пределы, указанные в табл. 1 [1].

Для оценки электрической прочности трубки определяют пробивное напряжение и вычисляют электрическую прочность по следующей формуле:

$$E_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{пр}}}{h}, \quad (1)$$

где $U_{\text{пр}}$ – значение пробивного напряжения, полученное в ходе испытания, h – толщина стенки изоляционной трубки.

Испытания обмоточных проводов марки ПЭТ-155 также начинаются с оценки внешнего вида. Эмалевая изоляция должна быть сплошной, поверхность провода гладкой, без пузырей и включений. Далее измеряются внешний диаметр провода и диаметр проволоки, который не должен выходить за установленные нормативным документом пределы [2].

Изоляция проводов с номинальным диаметром проволоки 0,250 мм и более должна выдерживать испытание на механическую прочность истиранием иглой диаметром 0,4 мм. Число возвратно-поступательных ходов иглы должно быть не менее 40. Число точечных повреждений в эмалевой изоляции провода с номинальным диаметром проволоки до 0,500 мм вклю-

чительно на длине $15 \pm 0,15$ мм должна быть не более 5 для проводов с диаметром проволоки 0,060–0,140 мм и не более 4 для проводов с диаметром проволоки 0,140–0,500 мм.

Таблица 1. Значения размеров изоляционной трубки Витур Т 0433-85

Внутренний диаметр, мм		Толщина стенки, мм				
Номинальный	Предельные отклонения	Номинальный	Предельные отклонения			
1,0	±0,2	0,3	±0,1			
1,5						
2,0						
2,5						
3,0						
3,5						
4,0	±0,25	0,5	±0,1			
4,5						
5,0						
6,0						
7,0						
8,0						
9,0	±0,5	0,6	±0,1			
10,0						
12,0						
14,0						
16,0						
18,0						
20,0	±0,8	0,7	±0,2			
22,0						
25,0						
30,0				±1,0	1,0	±0,2
35,0						
40,0						
	±1,3	1,2	±0,25			
	±1,3	1,2	±0,25			
	±2,0	1,5	±0,25			

Относительное удлинение при разрыве проводов должно соответствовать нормативному значению. При этом с увеличением диаметра проволоки значение относительного удлинения также возрастает.

Провода с номинальным диаметром проволоки более 0,355 мм должны быть навиты на стержень. При этом изоляция должна быть эластичной, недопустимы повреждения. Значения диаметров стержней для навива указаны в табл. 2.

Таблица 2. Значения диаметров стержней для навива провода в зависимости от диаметра проволоки

Диаметр проволоки, мм	Отношение диаметра стержня к диаметру проволоки			
	св. 0,355 до 0,690 вкл.	св. 0,690 до 1,250 вкл.	св. 1,250 до 1,700 вкл.	св. 1,700 до 2,500 вкл.
Отношение диаметра стержня к диаметру проволоки	4	7	10	14

Для определения пробивного напряжения требуется сделать скрутки из проводов. Отрезок провода складывается пополам. На рис. 1 изображена схема крутильного устройства для изготовления скруток [3].

Число скруток и нагрузка для крутильного устройства приведены в табл. 3.

Концы скруток зачищаются от эмалевой изоляции и подсоединяются к пробойной установке переменного тока частотой 50 Гц, состоящей из трансформатора, регулирующего устройства и измерительных приборов. Другой конец провода в виде петли разрезается по-

перек, концы разводятся друг от друга в разные стороны. Подают напряжение на зачищенные концы скрутки, напряжение плавно повышается до пробоя. Значения пробивного напряжения указано в табл. 4.

Таблица 3. Нагрузка, прикладываемая к скручиваемой паре провода и число скруток

Номинальный диаметр проволоки, мм	Нагрузка, прикладываемая к скручиваемой паре провода, Н	Число скруток на длине 125 мм
От 0,050 до 0,100 вкл.	0,400	40
Св. 0,100 до 0,250 вкл.	0,85	33
Св. 0,250 до 0,355 вкл.	1,70	23
Св. 0,355 до 0,500 вкл.	3,40	16
Св. 0,500 до 0,750 вкл.	7,00	12
Св. 0,750 до 1,060 вкл.	13,50	8
Св. 1,060 до 1,500 вкл.	27,00	6
Св. 1,500 до 2,120 вкл.	54,00	4
Св. 2,120 до 2,500 вкл.	108,00	3

Таблица 4. Значения пробивного напряжения в зависимости от диаметра проволоки

Номинальный диаметр проволоки, мм	Пробивное напряжение, В, не менее
От 0,060 до 0,071 вкл.	700
Св. 0,071 до 0,080 вкл.	800
Св. 0,080 до 0,100 вкл.	900
Св. 0,100 до 0,140 вкл.	1000
Св. 0,140 до 0,160 вкл.	1100
Св. 0,160 до 0,200 вкл.	1200
Св. 0,200 до 0,400 вкл.	1600
Св. 0,400 до 0,500 вкл.	2000
Св. 0,500 до 0,710 вкл.	2200
Св. 0,710 до 0,850 вкл.	2400
Св. 0,850 до 1,120 вкл.	2600
Св. 1,120 до 1,350 вкл.	2800
Св. 1,350 до 1,600 вкл.	3000
Св. 1,600 до 1,900 вкл.	3200
Св. 1,900 до 2,500 вкл.	3300

Данные методы испытаний позволяют оценить свойства обмоточных проводов марки ПЭТ-155 и трубки марки Витур Т 0433-85. Перед использованием на производстве довольно важно оценить описанные в статье параметры, так как некачественная изоляция может привести к короткому замыканию, и, как следствие, повреждениям оборудования и возгоранию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТУ 2249-018-32972176-2010. Трубки и жгуты из термопластичного полиуретана. Технические условия.
2. ТУ 16-502.012-82. Провода медные круглые эмалированные лаком на полиэфиримидной основе марки ПЭТ-155. Технические условия.
3. ГОСТ 14340.7-74. Провода эмалированные круглые. Метод испытания изоляции напряжением.