



В.К. Андрианов, канд. техн. наук, заведующий отделом;
З.Н. Кольцова, заведующая лабораторией;
 ОАО «ВНИИКП»
В.Т. Пивненко, канд. техн. наук,
 консультант ЗАО «Торговый Дом ВНИИКП»

ОБМОТОЧНЫЕ ПРОВОДА.

Современное состояние и перспективы развития

Аннотация. Статья посвящена обзору состояния производства обмоточных проводов в России и роли ВНИИКП в этом процессе.

Показаны пути совершенствования обмоточных проводов. Основные направления – повышение характеристик проводов и импортозамещение.

Ключевые слова: обмоточные провода; нагревостойкость обмоточных проводов; эмалированные провода с полиуретановой изоляцией и клеящим слоем на основе поливинилбутирала; эмалированные провода с полиэфиримидной изоляцией и клеящим слоем на основе модифицированного полиамида; эмалированные провода с полиимидной изоляцией и клеящим слоем на основе полиимида; толщина изоляции; пробивное напряжение; механическая прочность изоляции; температурный индекс.

Abstract. The paper gives a review of the current state of winding wire production in Russia and the role of VNIKIP in this process. The ways for winding wire improvement are shown. The primary directions are associated with the improvement of wire performance and import substitution.

Key words: winding wire; winding wire thermal resistance; winding wire with polyurethane insulation and polyvinylbutyral bonding layer; winding wire with polyesterimide insulation and modified polyamide bonding layer; winding wire with polyimide insulation and polyimide bonding layer; insulation thickness; breakdown voltage; mechanical strength of insulation; temperature index.

Материал поступил в редакцию 24.08.2017
 E-mail: vniikp@vniikp.ru; vniikp17@mail.ru

Обмоточные провода широко применяются в различных отраслях промышленности, начиная от производства миниатюрных электромеханических часов, микрореле космических аппаратов и заканчивая крупными электрическими машинами и трансформаторами. Надёжность и экономичность этих устройств зависит от технического уровня и качества обмоточных проводов. Основную группу обмоточных проводов составляют эмалированные провода, обладающие по сравнению с другими видами проводов повышенной прочностью и нагревостойкостью, меньшей толщиной изоляции, более высокой стойкостью к действию влаги и другими преимуществами.

Наиболее бурный период развития производства обмоточных проводов, и в первую очередь эмалированных проводов, пришёлся на 80-е годы прошлого столетия. Это связано с интенсивным развитием электромашиностроения, переходом на выпуск более экономичных и надёжных электродвигателей единых серий, которые пришли на смену устаревшим конструкциям.

Основные требования на тот период были связаны с повышением нагревостойкости обмоточных проводов. Это подтверждалось мировой практикой. К этому времени как в мировой практике, так и в СССР были синтезированы новые химические соединения на основе полиэфиримидов и их модификаций, вклю-

чая полиэфирциануратимиды. Были синтезированы высоконагревостойкие полиамидимидные соединения с температурным индексом (ТИ) 200 °С и полиимидные соединения с ТИ 220–240 °С. Такие материалы нашли применение в электромашиностроении, на их базе были созданы новые продукты, в первую очередь эмальлаки. Хорошие перспективы имели эмалированные провода с дополнительным клеящим слоем. К их числу относились эмалированные провода с полиуретановой изоляцией и клеящим слоем на основе поливинилбутирала, эмалированные провода с полиэфиримидной изоляцией и клеящим слоем на основе модифицированного полиамида, эмалированные провода с полиимидной изоляцией и клеящим слоем на основе полиимида. Способность этих проводов склеиваться под действием повышенной температуры позволила исключить из технологии производства обмоточных изделий операции пропитки специальными электроизоляционными лаками и компаундами и последующую сушку этих изделий, в результате чего повышалась производительность и улучшались условия труда. Создавались условия для внедрения поточных автоматических линий различного типа с законченным циклом производства электроэлементов.

Начиная с 90-х годов и до настоящего времени основным направлением развития обмоточных проводов,



проводимым ВНИИКП, является совершенствование их характеристик. В связи с оснащением кабельных заводов новым эмалировочным и обмоточным оборудованием появилась необходимость в совершенствовании технологии производства обмоточных проводов. Современное технологическое оборудование оснащено многочисленными дополнительными узлами и приспособлениями. Так, в эмальегрегатах совмещаются операции волочения и эмалирования. В оборудовании для производства различных типов обмоточных проводов используются приёмные и отдающие устройства, рассчитанные на катушки повышенной ёмкости, устройства для удаления стеклянной пыли из зоны обмотки, датчики контроля и поддержания натяжения проволоки на стабильном уровне, приборы контроля целостности изоляции, лазерные измерители диаметра провода и др.

Использование такого технологического оборудования позволяет повысить характеристики обмоточных проводов и обеспечить их современный уровень. Совершенствование технологии производства обмоточных проводов – одна из важнейших сторон работы ВНИИКП.

Наибольшее внимание всегда уделялось эмалированным проводам, являющимся наиболее прогрессивным типом обмоточных проводов. В табл. 1 приведены характеристики разработанных институтом нагревостойких эмалированных проводов, составляющих в кабельной промышленности основную долю выпуска.

Разработаны и внедрены в серийное производство эмальпровода с дополнительным клеящим слоем на рабочую температуру 200 °С (марка ПЭАИ-К-200). Основная изоляция проводов изготавливается на основе полиамидимидного лака, клеящий слой – на основе полиимидного лака. Температура повторного размягчения изоляции указанных проводов превышает 220 °С. Эти провода имеют изоляцию, стойкую к агрессивным жидкостям, хладонам, при этом потеря массы изоляции не превышает 1 %.

В последние годы в ОАО «ВНИИКП» проводится большая работа по импортозамещению. Всё большее распространение в качестве изоляции обмоточных проводов в последнее время начинает получать изоляция из полиимидно-фторопластовой плёнки. Эта изоляция используется для изготовления проводов, применяемых для обмоток электродвигателей погружных насосов для добычи нефти и проводов для обмоток тяговых электродвигателей. Такие провода обладают хорошими механическими и электроизоляционными свойствами (табл. 2). Для сравнения в таблице приведены также типовые характеристики обмоточных проводов со стекловолоконистой изоляцией.

Долгое время монополистом на отечественном рынке по производству полиимидно-фторопластовых плёнок являлась фирма DuPont (США), которая поддерживала

Таблица 1

Основные характеристики нагревостойких эмалированных проводов

Характеристики проводов	Марки проводов		
	ПЭТ-155	ПЭТД-180	ПЭЭИТ-1,2 180
Диапазон номинальных диаметров жилы, мм	0,060 ÷ 2,500	0,200 ÷ 2,000	0,018 ÷ 1,000
Допуск на диаметр жилы, мм	0,003 ÷ 0,025	0,003 ÷ 0,020	0,001 ÷ 0,010
Толщина изоляции, мм	0,021 ÷ 0,131	0,045 ÷ 0,120	0,004 ÷ 0,094
Пробивное напряжение, В (для Ø1,000 мм)	4 900	4 900	5 000
Механическая прочность изоляции (мин./сред.), Н (для Ø1,000 мм)	8,8/10,4	9,2/10,9	9,2/10,9
Температурный индекс, °С	155	180	180
Срок службы, лет	–	–	32

Таблица 2

Основные характеристики обмоточных проводов со стекловолоконистой и полиимидно-фторопластовой изоляцией

Характеристики	Провода со стекловолоконистой изоляцией	Провода с плёночной полиимидно-фторопластовой изоляцией
Диапазон выпускаемых проводов: номинальный диаметр жилы, мм	0,315 ÷ 5,200	0,600 ÷ 5,150
Толщина изоляции, мм	0,140 ÷ 0,300	0,160 ÷ 0,240
Механическая прочность, число двойных ходов иглы	Мин. 8 ÷ 100 Ср. 8 ÷ 180	Мин. 125 Ср. 1000
Пробивное напряжение, В	300 ÷ 550	12 000 ÷ 30 000
Рабочая температура, °	180	200

В числе обмоточных проводов, разработанных ВНИИКП, следует отметить:

- гамму обмоточных проводов с медными жилами и жилами из сплавов сопротивления, имеющих повышенные электроизоляционные и механические характеристики;
- обмоточные провода со стекловолоконистой изоляцией на ТИ 200 °С, обладающие повышенными механическими и электроизоляционными характеристиками. Отличительной чертой этих проводов является повышенная надёжность: срок службы проводов впервые увеличен до 32 лет.



высокий уровень цен на плёнки. С организацией производства отечественных полиимидно-фторопластовых пленок во ВНИИКП была проведена большая работа по разработке технологии производства обмоточных проводов с применением отечественных плёнок и внедрением их в серийное производство. Расширен диапазон диаметров обмоточных проводов с пленочной полиимидно-фторопластовой изоляцией. Проведены всесторонние испытания, в том числе и ресурсные, которые позволили сделать вывод, что отечественная пленка не уступает импортным аналогам, а ее цена значительно ниже.

В последние годы на электромеханических заводах широко внедряется частотный способ плавного регулирования электроприводов, построенных на базе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Данный способ основан на использовании преобразователей частоты. При работе от частотного регулятора изоляция двигателя испытывает воздействие намного более высоких градиентов напряжения, чем при работе от источника синусоидального напряжения такой же амплитуды и частоты. Это приводит к возникновению коронных разрядов в изоляции обмотки в процессе регулирования (изменения частоты) электрического привода.

Как следствие, происходит быстрое старение изоляции, что сказывается на снижении надёжности и срока службы электрической машины. Особенно опасны подобные перенапряжения для межвитковой изоляции обмоток, являющейся слабым элементом всей системы изоляции. Используемые до настоящего времени обмоточные провода для низковольтных обмоток выпускалась

без учёта стойкости к подобным перенапряжениям, так как величины рабочих напряжений при эксплуатации асинхронных двигателей были значительно меньше напряжения начала образования электрических разрядов в изоляции.

Стандартные эмалированные провода, применяемые для обмоток электродвигателей, не обладают стойкостью к воздействию коронных разрядов. Для решения проблемы стойкости электродвигателей при частотном регулировании во ВНИИКП была разработана конструкция эмальпровода, стойкого к воздействию коронных разрядов, производство которых было организовано на заводе «Сибкабель». Основная изоляция проводов выполнена на основе полиэфирциануратимидного лака, верхний слой изоляции – короностойкий полиамидимидный эмальлак. Срок службы разработанного провода в 3 раза выше, чем у проводов, выпускаемых серийно.

К числу других перспективных направлений в области обмоточных проводов также относятся:

- совершенствование технологии производства проводов с целью повышении их характеристик, введения в техническую документацию новых требований, таких как коэффициент трения скольжения, точечные повреждения при высоком напряжении, дефектность, упругость прямоугольных проводов, термопластичность и адгезионная прочность плёночной изоляции;
- разработка проводов особо высокой нагревостойкости с рабочей температурой 500–900 °С, дальнейшее уменьшение диаметра жилы, повышение срока службы проводов.

