

## ТОНЧАЙШИЕ ЭМАЛИРОВАННЫЕ ПРОВОДА ДЛЯ РЕЛЕЙНОЙ ТЕХНИКИ

Для намотки обмоток микроминиатюрных реле требуются эмалированные провода микронных размеров с очень малой толщиной изоляции. Уменьшение диаметра жилы влечет за собой увеличение плотности тока, протекающего по ней и как следствие повышения температуры обмотки. Возникает вопрос о повышении теплоустойкости изоляции эмалированных проводов.

Эмалированные провода, используемые для изготовления современных миниатюрных малогабаритных реле, должны иметь следующие свойства:

- высокие изоляционные характеристики;
- высокую теплоустойкость (допустимая рабочая температура длительно не менее 150 - 200 °С);
- минимальное выделение органических летучих веществ, что особенно важно для герметичных реле при максимальных рабочих температурах;
- достаточно высокую механическую прочность.

До последнего времени в конструкциях реле находили широкое применение эмалированные провода марки ПЭТвр, предназначенные для работы при температуре от -60 до +130 °С. К недостаткам этих проводов следует отнести достаточно большое газовыделение при повышенных температурах (+130 °С и выше) и размягчение изоляционного покрытия при этих температурах, что может приводить к короткозамкнутым виткам.

С целью повышения теплоустойкости изоляции были разработаны эмалированные провода марки ПЭТр-155. Они имеют достаточно тонкую изоляцию и могут длительно работать до температуры 155 °С. Но учитывая, что в ряде конструкций реле температура обмоток достигает температур 180 - 200 °С, применение проводов марки ПЭТр-155 в таких конструкциях не обеспечивает необходимого ресурса работы изделия.

Анализ характеристик приведенных марок проводов показывает, что они полностью удовлетворяют возросшим требованиям, предъявляемым к проводам для намотки обмоток в миниатюрных герметичных реле по теплоустойкости, сроку службы в условиях повышенных температур,

близких к предельно допустимой температуры для данной марки провода, по газовыделению и толщине изоляции.

В мировой практике получило широкое развитие направление по созданию электроизоляционных материалов и эмалированных проводов на их основе для длительной эксплуатации при температурах 180 °С и выше. Изоляция таких проводов, как правило, выполнена на основе полиамидимидов.

Взамен проводов марок ПЭТВр (ТУ 16-705.110-79) и ПЭТр-155 (ТУ 16-705.048-78) разработаны тончайшие эмалированные провода марки ПЭТ-200, которые выпускаются по ТУ 16-505.937-76 с диаметра 0,017 мм и выше. Они обладают повышенными механическими (2) и электрофизическими свойствами при меньшей, чем у проводов марок ПЭТВр и ПЭТр-155, толщине изоляции. Было установлено, что провода марки ПЭТ-200 отличаются повышенной термостойкостью, температурный индекс провода 200 °С. После выдержки при температуре 200 °С в течение 500 часов среднее значение величины пробивного напряжения изоляции снижается по сравнению с исходным состоянием следующим образом:

у проводов марки ПЭТВр на 36,2 %

У проводов марки ПЭТр-155 на 22 %

У проводов марки ПЭТ-200 на 15 %.

Как было сказано выше, важной характеристикой эмалированных проводов, используемых для намотки обмоток в герметичных реле, является минимальное выделение органических летучих веществ в условиях повышенных температур. Величина газовыделения изоляции эмалированных проводов определялась по снижению массы изоляции в условиях повышенных температур и повышенного давления. Результаты представлены в табл. I.

Масса изоляции проводов в условиях температуры 200 °С в зависимости от времени выдержки (проценты от исходного)

Таблица I

Марка провода	Давление 760 мм рт.ст.				Давление 10 <sup>-2</sup> мм рт.ст.			
	Время, ч				Время, ч			
	25	50	75	100	25	50	75	100
ПЭТ-200	99,9	99,4	99,2	99,0	93,0	89,0	88,0	87,0
ПЭТр-155	99,5	99,0	98,5	98,0	80,0	61,0	53,0	50,0
ПЭТВр	97,0	95,0	94,0	93,0	53,0	50,0	47,5	46,0

Анализ полученных результатов показывает, что изоляция проводов марки ПЭТ-200 при повышенной температуре в условиях как пониженного, так и нормального атмосферного давлений имеет гораздо меньшую величину газовыделения, что снижает вероятность отказа контактной системы реле из-за резкого увеличения переходного сопротивления.

В процессе эксплуатации эмалированные провода подвергаются воздействию термических ударов, то есть кратковременного изменения температуры окружающей среды. При этом может быть как воздействие повышенной температуры (тепловой удар), так и воздействие минусовой температуры, а в большинстве случаев провода подвергаются следующим друг за другом воздействиям повышенных и пониженных температур.

Результаты испытаний показали, что с ростом числа температурных циклов, воздействующих на эмалированный провод, электрическая прочность его изоляции снижается. Так у проводов марки ПЭТВр диаметром 0,05 мм после воздействия 130 температурных циклов от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+130^{\circ}\text{C}$  электрическая прочность изоляции снижается на 30 процентов. Чем больше амплитуда колебаний между плюсовой и минусовой температурой термоцикла тем сильнее снижение величины электрической прочности изоляции. У проводов марки ПЭТ-200 тончайших размеров после циклического воздействия температуры электрическая прочность изоляции снижается незначительно.

При использовании проводов марки ПЭТ-200 для намотки обмоток катушек реле повышается надежность их работы.

Вторым важнейшим направлением в развитии тончайших эмалированных проводов являются провода с комбинированной изоляцией марки ПЭВТЦ.

Такие провода изготавливаются с эмалевой изоляцией на основе полиуретанов и дополнительным термопластичным клеящим слоем на основе поливинилбутираля.

Свойства проводов марки ПЭВТЦ склеиваться под воздействием тепла позволяет исключить из технологического процесса изготовления точных изделий операции пропитки их витков специальными электроизоляционными лаками и компаундами и последующую сушку этих изделий, в результате чего повышается производительность и улучшаются условия труда. Создаются условия для внедрения автоматов и поточных автоматических линий различного типа с законченным циклом производства электроэлементов, включая намотку, склеивание (спекание), облуживание, пайку и монтаж. Автоматизация технологи-

ческого процесса приводит к уменьшению брака изделий.

Температурный индекс изоляции проводов марки ПЭВМД, определенный по ГОСТ 10519-76, составляет I20, однако максимальная температура, при длительной эксплуатации этих проводов, определяется не основной (полиуретановой) изоляцией, а работоспособностью клеящего слоя на основе поливинилбутираля, его длительной нагревостойкостью и способностью противостоять непродолжительным тепловым воздействиям.

Испытания показали, что клеящее покрытие провода начинает размягчаться и склеиваться при температурах порядка 90°C. Необходимая для практических целей прочность склеивания проводов достигается при температуре 160-170°C.

Применение этих новых марок тончайших эмалированных проводов в изделиях релейной техники позволит повысить их надежность и использовать новые технологические процессы при их изготовлении.