

Ю.А. Зеленецкий, технический директор ОАО «Завод «Микропровод»

# К ВОПРОСУ ОБ АДГЕЗИИ ИЗОЛЯЦИИ ЭМАЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ С РАЗЛИЧНЫМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ ИНДЕКСОМ



**Аннотация.** Исследуется изменение адгезии электроизоляционного покрытия к медной токопроводящей жиле при длительном воздействии температуры в диапазоне до и выше значения температурного индекса исследуемого эмалилака. На примере эмалированного провода с двухслойной изоляцией, состоящей из слоев модифицированного полиэфиримидного и полиамидимидного лака, показано, что величина адгезии может быть использована в качестве параметра, определяющего температурный индекс.

**Ключевые слова:** адгезия; пробивное напряжение; температурный индекс; эмалированный провод.

**Abstract.** The change in the insulating coating adhesion to the copper conductor under the long-term exposure to a temperature within the range up to and above the temperature index of the tested enamel varnish is studied. With an enameled wire having a double-layer insulation of modified polyestermide and polyamideimide varnishes as an example it is shown that the adhesion value may be used as a parameter determining the temperature index.

**Key words:** adhesion, breakdown voltage, temperature index, enameled wire.

Материал поступил в редакцию 22.08.2017  
E-mail: zelenezky@mikroprovod.ru

При разработке новых конструкций эмалированных проводов возникают вопросы сохранения работоспособности изделия после длительного воздействия повышенных температур. Нагревостойкость эмалированных проводов определяется значением температурного индекса, характерным для изоляции определённой марки. Под температурным индексом понимается температура, при которой у эмалированного провода в течение не менее 20 000 ч пробивное напряжение (или другой параметр) сохраняется выше определённого заданного уровня [1].

Существует методика определения температурного индекса, основанная на обработке статистических данных отказов (электрических пробоев) эмалипровода после выдержки при определённой температуре [2]. Стандартизованных методик определения температурного индекса при изменении других параметров эмалированного провода под воздействием теплового потока не существует.

Однако можно предположить, что снижение уровня некоторых других характеристик эмалипровода окажет влияние на способность эмалипровода обеспечивать работоспособность электротехнического изделия. В частности, данное допущение справедливо относительно адгезии электроизоляционной лаковой плёнки к поверхности металлической жилы. Очевидно, что в случае потери адгезии возникает вероятность нарушения целостности покрытия с последующей потерей электроизоляционных свойств. С высокой степенью вероятности это может произойти в электротехнических изделиях, не пропитанных компаундами и подверженных воздействию ударных циклических или вибрационных нагрузок. В связи с этим изучение характера зависимости температурного индекса эмалипроводов от адгезионной прочности эмалевого покрытия является актуальным вопросом и требует детального изучения.

На ОАО «Завод «Микропровод» в процессе разработки специальных конструкций эмалированных проводов были

проведены испытания, позволяющие оценить динамику снижения адгезии при воздействии повышенной температуры. Для выяснения возможных причин снижения уровня и установления фактической величины адгезии после воздействия температуры были проведены исследования изменения величины адгезии на примере эмалированного провода диаметром 4,50 мм. Испытаниям подвергался эмалированный провод, покрытый двухслойной изоляцией. Первый слой состоял из модифицированного полиэфиримидного лака, второй – из полиамидимидного лака. Производителем полиамидимидного лака был заявлен температурный индекс, равный 250 °С, в связи с чем данная температура испытаний была выбрана в качестве максимальной. Для определения величины адгезии использовалась стандартная методика. Образцы эмалированного провода длиной 250 мм подвергались воздействию температуры 180 °С, 200 °С, 220 °С и 250 °С в течение фиксированного времени. При каждой температуре в термостат помещали по 50 образцов. После выдержки в течение заданного времени при заданной температуре из термостата извлекали не менее трёх образцов. С противоположных сторон по диаметру провода скребком счищалась изоляция. Подготовленные образцы на крутильной машине подвергались скрутке до фиксации отслаивания изоляции от жилы. Положительным результатом считалось сохранение адгезии к медной жиле оставленных на проводе двух полос электроизоляционного слоя при одном и более полных оборотах.

Длительность испытаний при каждой температуре ограничивалась временем, при котором наблюдалась потеря адгезии. Максимальное время испытаний составило 96 ч. По истечении 96 ч испытания были прекращены, при этом адгезия сохранилась на образцах, подвергнутых воздействию температур 200 °С и 180 °С.

Результаты испытаний приведены в таблице, где в верхней строке по горизонтали указано время воздействия

аблица

**Количество оборотов до отслоения изоляции  
в зависимости от температуры и времени выдержки**

Время, ч	Т, °С			
	250	220	200	180
1	31, 32, 33	27, 28, 28	24, 27, 30	27, 29, 30
2	30, 31, 32	21, 22, 23	18, 20, 24	25, 26, 27
3	22, 23, 25	9, 10, 10	12, 14, 15	5, 17, 20
4	21, 22, 23	7, 8, 8	9, 11, 11	5, 16, 17
5	19, 20, 21	6, 6, 7	5, 9, 10	5, 12, 13
6	17, 12, 16	5, 6, 7	6, 8, 9	10, 10, 11
8	5, 6, 7	5, 6, 6	5, 6, 7	9, 9, 10
12	2, 3, 4	5, 5, 7	4, 5, 7	5, 11, 13
16	0	2, 5, 5	4, 7, 14	18, 24, 28
24	0	2, 3, 4	4, 4, 4	7, 21, 26
28	—	3, 4, 10	4, 7, 6	18, 19, 19
32	—	3, 3, 8	6, 8, 9	6, 13, 15
40	—	0, 0, 2	2, 3, 8	4, 5, 7
48	—	0	2, 3, 7	4, 5, 6
72	—	—	2, 2, 3	4, 5, 6
96	—	—	2, 3, 8	2, 2, 4

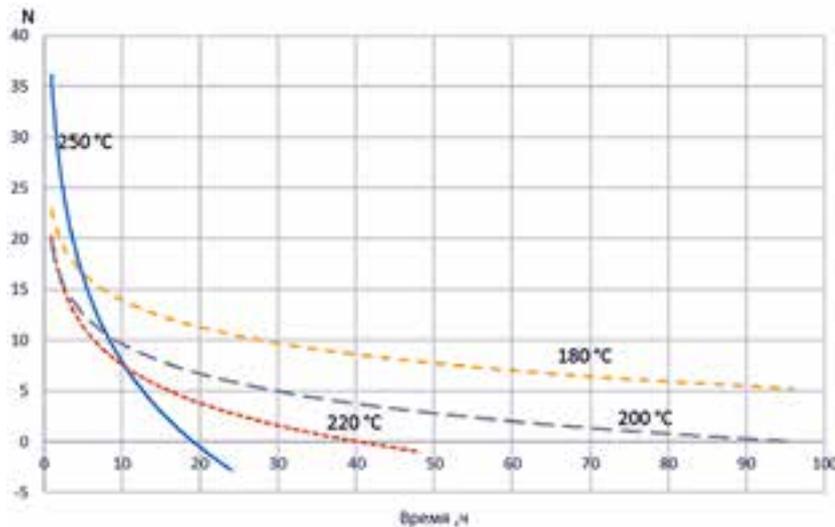


Рис. Зависимость адгезии от времени воздействия температуры

температуры на образцы в часах; в левом вертикальном столбце – значение температуры, при которой выдерживались образцы. Содержимое ячеек таблицы – количество оборотов до потери адгезии (отслаивания изоляции).

По результатам обработки полученных данных построены кривые, приведенные на рисунке. По оси абсцисс показано время испытаний; по оси ординат изображено количество оборотов (N), при котором происходила потеря адгезии (отслаивание полимерных плёнок). При построении кривых в каждой точке использовались средние значения N из трех величин, приведенных в таблице.

По результатам испытаний установлено, что при температурах 250 °С и 220 °С по истечении 12 и 36 ч соответственно наблюдалась полная потеря адгезии. При зачистке образцов после воздействия температуры в течение 16 ч наблюдается разрушение лаковой плёнки. В то же время при температурах 200 °С и 180 °С, после резкого снижения в начальный период, адгезия сохраняется в течение более 90 ч испытаний. Исходя из этого, можно сделать предварительный вывод, что адгезия электроизоляцион-

ного покрытия сохраняется длительное время при температуре эксплуатации, соответствующей температурному индексу полиэфиримидного лака, формирующего первый слой испытуемого двухслойного покрытия. Резкое снижение значения адгезии произошло в диапазоне времени от 20 до 90 ч. После 90 ч наблюдается тенденция к стабилизации параметра. Для сравнения, в соответствии с ГОСТ 10519–76 продолжительность испытаний составляет 2520 ч.

В то же время объёма проведённых исследований недостаточно для формирования окончательно вывода о времени, необходимом для определения температурного индекса данным методом. При дальнейшей работе необходимо оценить возможность использования данного метода для всех типов электроизоляционных лаков. Также требует уточнения вопрос о том, насколько верно данные испытания отображают значение температурного индекса для изоляционной системы, состоящей из двух эмальлаков.

**ВЫВОДЫ**

1. Установлена зависимость адгезии лаковой плёнки к медной проволоке от времени воздействия температуры для исследуемой изоляционной системы.

2. Сделан предварительный вывод о возможности использования предложенного метода испытаний для установления температурного индекса эмальированного провода.

3. Установлено, что в отличие от нормативов времени испытаний в соответствии с ГОСТ 10519–76, за сравнительно короткий промежуток времени испытаний происходит резкое снижение значения адгезии; в дальнейшем наблюдается тенденция к стабилизации параметра. Следовательно, можно предположить, что данную методику можно использовать как экспресс-метод определения температурного индекса.

4. В результате эксперимента установлено что при воздействии максимальной температуры 250 °С произошла ускоренная потеря адгезии, сопровождающаяся деструкцией эмалевой плёнки. Следовательно, производитель необоснованно завысил заявленный (250 °С) температурный индекс эмалевого покрытия.

5. Подтверждён фактический температурный индекс 180 °С, характерный для модифицированных полиэфиримидных лаков.

6. Для подтверждения предварительных выводов необходимо продолжить набор статистических данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пешков И.Б. Обмоточные провода: учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 552 с.  
2. ВНИИКП. ГОСТ 10519–76. Метод ускоренного определения нагревостойкости. – М.: Издательство стандартов, 1976. – 22 с.