

Г.И. Мещанов, канд. техн. наук, генеральный директор ОАО «ВНИИКП»;  
И.Б. Пешков, д-р техн. наук, проф., президент Ассоциации «Электрокабель»;  
В.Т. Пивненко, канд. техн. наук, консультант ЗАО «Торговый Дом ВНИИКП»

# РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭМАЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ В РОССИИ

Эмалированные провода составляют основную группу обмоточных проводов, то есть проводов, применяемых для обмоток электрических машин, аппаратов и приборов. В конце XIX – начале XX века кабельными заводами выпускались обмоточные провода только с изоляцией из натурального шелка и хлопчатобумажной пряжи. На смену именно этим проводам пришли эмалированные провода, обладающие повышенной электрической прочностью и нагревостойкостью, имеющие меньшую толщину изоляции, более высокую стойкость к действию влаги и т.д.

В Советском Союзе производство эмалированных проводов было организовано в 20-е годы сначала на заводе «Севкабель» (г. Санкт-Петербург), затем на за-

воде «Москабель», а перед Великой Отечественной войной и на заводе «Укркабель» (г. Киев). Сначала это были провода с эмалевой изоляцией на основе масляных лаков, а после войны началась эра синтетических лаков, обеспечивающих повышенную механическую прочность и нагревостойкость изоляции. В нашей стране в работах по переходу на использование синтетических эмальлаков и организации производства новых проводов активное участие приняли НИИКП (ныне ОАО «ВНИИ кабельной промышленности»), заводы «Севкабель» и «Москабель», ВЭИ им. Ленина, институты Академии наук СССР.

Обмоточные провода по-прежнему сохраняют важное место в мировом кабельном производ-

стве. Так, в 2005 году потребление этого вида продукции, большую часть которого составляют провода эмалированные, превысило 13 % от общемирового потребления кабельной продукции всех типов. Начиная с конца 60-х годов прошлого века отечественная кабельная промышленность практически не выпускала эмалированные провода с масляной изоляцией и полностью перешла к производству проводов с синтетической изоляцией. Все эти годы продолжался переход на использование лаков более высокой нагревостойкости и, соответственно, на производство эмалированных проводов с более высоким температурным индексом (ТИ). Так, если в 1990 году отечественная кабельная промышленность выпускала только 34 % проводов с ТИ 155–200 °С, то в 2004 году эта доля возросла до 63 %, что практически соответствует мировой структуре производства эмалированных проводов [1].

Важным положительным фактором в отечественном эмальпроизводстве в 70–80-е годы прошлого века, ориентированном на преимущественное применение импортных лаков, явилось более широкое использование отечественных лаков, в первую очередь выпускаемых ОАО «Электроизолит» (г. Хотьково). За 10 лет, в период с 1990 по 2000 год, объем применяемых отечественных эмальлаков уве-



личился соответственно с 23 % до 72 % от общего потребления. Экономический кризис, разразившийся на территории России и других стран СНГ в 90-е годы, привел к резкому снижению объемов производства эмалированных проводов. Если в 1990 году отечественная кабельная промышленность выпускала более 175 тыс. т проводов, то в 2005 году эта цифра составила всего около 35 тыс. т, причем в 2005 году по сравнению с 2004 годом объем производства снизился еще на 4 %. Причины сложившейся ситуации известны [2]. К ним прежде всего относятся:

- снижение производства электрических машин и аппаратов общепромышленного применения, в первую очередь электродвигателей единой серии;

- снижение потребления эмалированных проводов предприятиями оборонного комплекса, ранее потреблявшими около 30 % всех эмалированных проводов; сюда же следует прибавить резкое снижение потребления проводов тонких и тончайших размеров предприятиями, выпускающими релейную технику (дополнительно 12–15 % потребления);

- увеличивающийся импорт бытового электрооборудования, в составе которого используются эмалированные провода зарубежных производителей.

Тем не менее работа по совершенствованию технологии производства эмалирования проводов и методов их испытаний ОАО «ВНИИКП» и кабельными заводами продолжается. Прежде всего следует рассмотреть ситуацию с заменой устаревших эмальагрегатов. Имевшиеся к началу 90-х годов эмальагрегаты предыдущего поколения не могли обеспечить удовлетворение возрастающих требований потребителей. Преимуществами современных эмальагрегатов являются:

- высокая производительность ( $VD = 100 - 200$ , где  $V$  – скорость эмалирования,  $D$  – диаметр эмалируемой проволоки);

- высокая степень каталитического дожигания отходящих от эмальпечи газов;

- повышенное качество выпускаемой продукции, в том числе за счет совмещения волочения проволоки с эмалированием;

- меньший удельный расход электроэнергии при производстве эмалированных проводов;

- стабильность электрических и физико-механических характеристик выпускаемой продукции;

- большая емкость отдающей и приемной тары.

Поэтому, несмотря на неудачно складывающуюся конъюнктуру, в отношении увеличения потребления проводов кабельные заводы были вынуждены переоснащать производство современными эмальагрегатами. Даже в кризисном 1998 году в основном на кабельных заводах России, Украины и Белоруссии эксплуатировалось 32 современных эмальагрегата. В 2005 году эта цифра увеличилась до 82. Поэтому в настоящее время отечественные эмалированные провода удовлетворяют как требованиям международных стандартов, так и ужесточившимся требованиям потребителей.

Следует подчеркнуть, что работоспособность электроизоляционной системы определяется не только качеством и характеристиками применяемых эмалированных проводов, но и совместимостью эмалевого изоляционного состава. Поэтому для обеспечения повышения ресурса электродвигателей единой серии до 40–50 тыс. часов проведение комплекса исследований для оценки совместимости является обязательным. Еще более важное значение приобретают методы определения нагревостойкости, а следовательно, и ресурса. Базовым методом определения нагревостойкости остается метод циклического испытания напряжением после воздействия повышенных температур, превышающих предполагаемые рабочие [3]. Однако испытания в соответствии

с этим методом длительные. Часто для оценки нагревостойкости и ТИ требуется время до двух лет. Кроме того, этот метод испытаний трудоемок. Поэтому все шире используются экспресс-методы определения ТИ, тем более что принципиальных изменений в рецептурах применяемых эмальлаков не происходит.

Одним из достаточно эффективных методов определения нагревостойкости и ТИ является метод дифференциального термогравиметрического анализа, позволяющий получать кривую убыли массы при повышении температуры и фиксировать изменение теплосодержания, сопровождающего любую химическую реакцию или фазовый переход. Этот метод используется в отечественной практике с начала 80-х годов.

За рубежом, а в настоящее время и у нас применяется еще один экспресс-метод оценки температурного индекса: по зависимости тангенса угла диэлектрических потерь ( $tg\delta$ ) от температуры.

Как известно,  $tg\delta$  для большинства электроизоляционных материалов резко возрастает, начиная с определенной температуры, которая зависит от типа полимерного материала. Зависимость  $tg\delta$  эмалевого изоляционного материала от температуры на практике используется для подтверждения ТИ. На рис. 2 показана характерная зависимость  $tg\delta$  эмалевого изоляционного материала от температуры. Точка пересечения касательных к двум участкам кривой зависимости, показанной на рис. 2, характеризует предельную температуру длительной эксплуатации эмалированного провода. Такой метод подтверждения ТИ эмалированных проводов дает хорошие результаты для проводов с ТИ 130 и выше.

Следует отметить, что характер изменения  $tg\delta$  эмалевого изоляционного материала от температуры зависит также от режима термообработки. Со снижением скорости эмалирования (увеличением времени термообработки) температурные об-

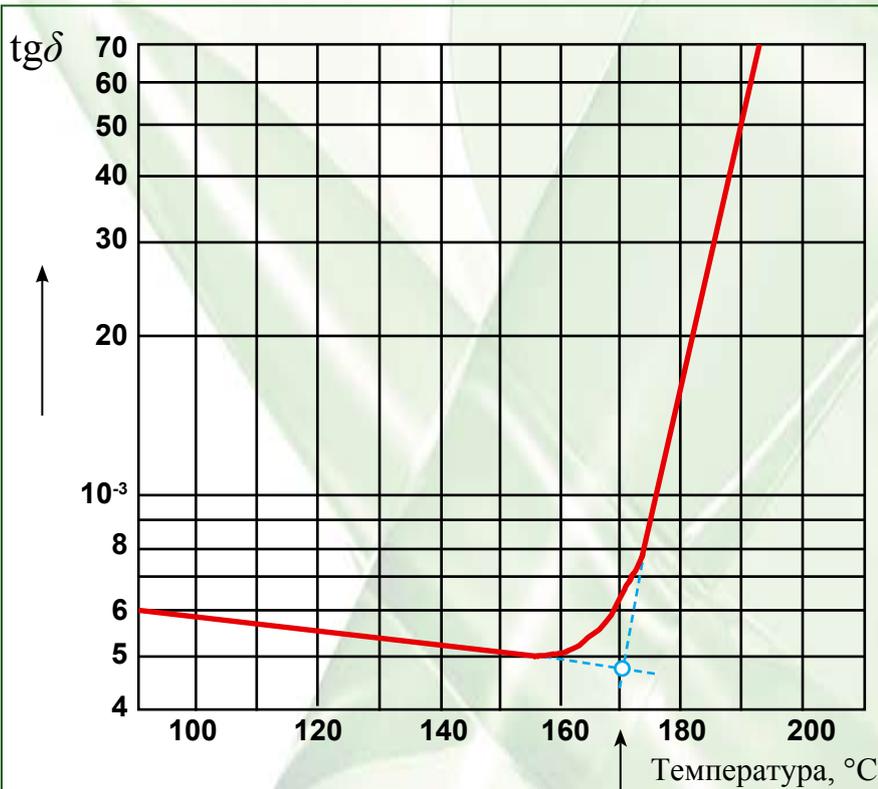


Рис. 2. Характерная зависимость  $tg\delta$  эмалевой изоляции от температуры

Точка пересечения касательных

ласти, соответствующие проявлению характерного максимума релаксационных потерь в изоляции, смещаются в сторону более высоких температур, а максимальное значение  $tg\delta$  уменьшается. Дальнейшее уменьшение скорости эмалирования не приводит к заметному улучшению диэлектрических свойств и обуславливает возможность деструкционных потерь.

Метод позволяет осуществлять строгий контроль за степенью полимеризации во время всего производственного процесса. Поддерживая оптимальные условия для отверждения эмали, можно обеспечивать использование технологического оборудования с максимальной эффективностью (рис. 3).

Экологические проблемы при производстве эмалированных проводов часто имеют преобладающее значение. Газы, выделяющиеся при отверждении эмалевой пленки в печи эмальагрегата, в первую очередь растворители, являются токсичными, поэто-

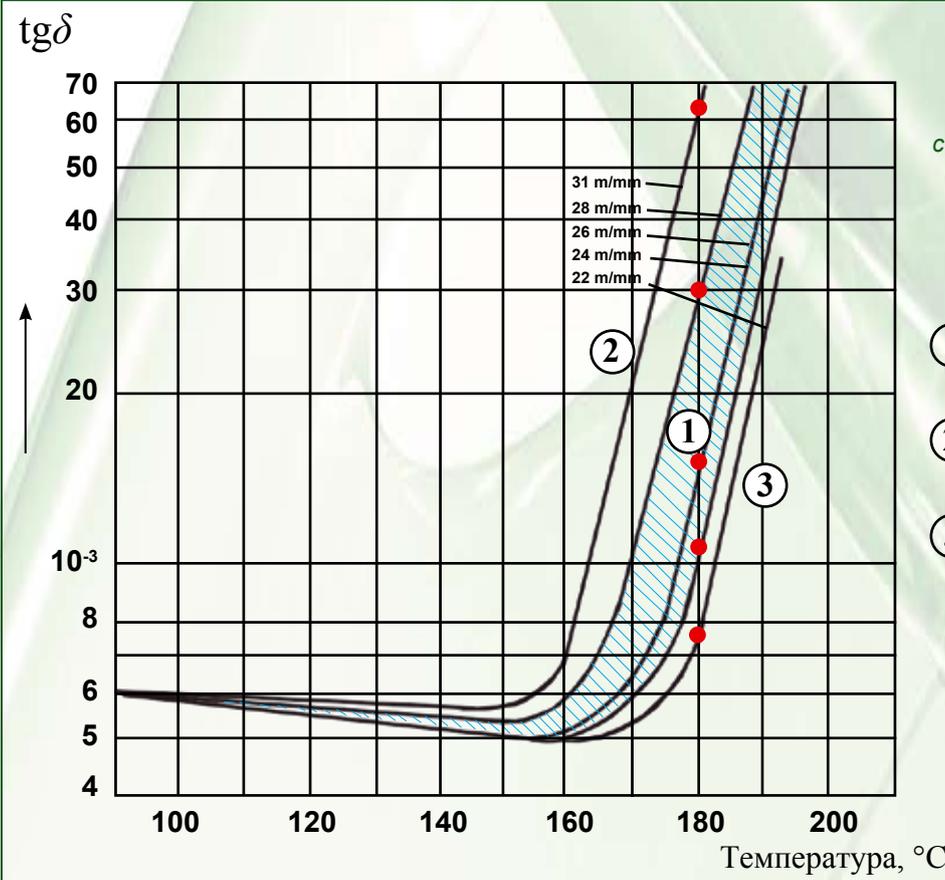


Рис. 3. К определению степени отверждения эмалевой изоляции с использованием зависимости  $tg\delta$  изоляции от температуры

- ① область степени запечки требуемыми свойствами
- ② область слабой запеченной лаковой изоляции
- ③ область со слишком высокой степенью запечки изоляции

му они подлежат каталитической очистке. В качестве катализаторов используются, как правило, благородные металлы – платина или палладий, обеспечивающие протекание реакции сгорания при более низких температурах. На практике можно рассчитывать эффективность каталитической очистки отходящих от эмали печи газов-Э, применяя несложную методику, предложенную ОАО «ВНИИКП»:

$$\mathcal{E} = \frac{C_H - C_K}{C_H} \times 100 \%,$$

где  $C_H$  – начальная концентрация растворителя, поступающего в эмали печь (определяется расчетным путем);  $C_K$  – конечная концентрация растворителя (определяется аналитически на выходе в вентиляционной трубе).

Прежде всего рассчитывается начальная концентрация растворителя  $C_H$ , например трикрезола, при эмалировании проволоки полиэфирным лаком. Сначала определяется масса эмалевого изоляционного на 1000 кг проводов и масса лака, необходимая для образования эмалевого пленки на 1000 кг проводов. С учетом содержания растворителя в рецептуре лака и производительности эмали агрегата вычисляется содержание

растворителя в лаке  $m_p$ , необходимым для изготовления вышеуказанного количества эмалеванных проводов. Объем воздуха, подаваемого на катализатор, определяется производительностью вентилятора  $W$ . Тогда начальная концентрация растворителя

$$C_H = \frac{m_p}{W}.$$

Конечная концентрация растворителя, как уже указывалось, определяется аналитически на выходе в вентиляционной трубе. Зная  $C_H$  и  $C_K$ , легко рассчитать эффективность каталитической очистки.

При организации производства эмалеванных проводов, несмотря на то что современные эмали агрегаты оснащены высокоэффективными каталитическими устройствами дожигания отходящих газов, обязательно проводится расчет количества загрязняющих веществ в атмосфере. Для этого используется методика расчета, разработанная ОАО «ВНИИКП». При этом валовые выбросы вредных веществ в атмосферу определяются как сумма выбросов от всех источников загрязнения, в том числе от каждого единичного эмали агрегата с учетом эффективности дожигания каталитического устройства

этого эмали агрегата. Полученная в результате расчета предельная концентрация загрязняющего вещества не должна превышать предельно допустимую концентрацию этого вещества.

В настоящее время наличие современных эмали агрегатов и появление инвестиций в производство эмалеванных проводов в кабельной промышленности позволяют прогнозировать развитие этого производства даже в условиях вхождения России во Всемирную торговую организацию, когда конкуренция с зарубежными поставщиками проводов обострится. Безусловно, эта задача может быть решена только в тесном взаимодействии с потребителями при обеспечении высокого качества эмалеванных проводов и взаимоприемлемой ценовой политики.

#### ЛИТЕРАТУРА



1. Андрианов В.К. Состояние производства обмоточных проводов на предприятиях Ассоциации «Электрокабель» // Кабели и провода. 2005. № 6 (295). С. 3–5.
2. Пивненко В.Т. Состояние производства обмоточных проводов с эмалевого, бумажной, волокнистой, пленочной и пластмассовой изоляцией в России и странах СНГ // Кабели и провода. 2002. № 2 (273). С. 18–20.
3. Пешков И.Б. Обмоточные провода. М.: Энергоатомиздат, 1995. 416 с.

## Кабельное оборудование

Завод «ПЕНЗТЕКСТИЛЬМАШ» предлагает:

- обмоточные, изолировочные машины;
- модернизацию и поставку запасных частей;
- изготовление оборудования по техническому заданию;
- изготовление сопутствующих механизмов к кабельным машинам;
- возможно получение оборудования в лизинг.

г. Пенза, ул. Каракозова, 33.  
Тел.: (8412) 64-27-21  
[www.oaoptm.ru](http://www.oaoptm.ru)