

В.К. Андрианов, канд. техн. наук, заведующий отделом;
Е.Б. Васильев, канд. эконом. наук, заместитель генерального директора;
ОАО «ВНИИКП»

Аннотация. Сделана попытка анализа состояния производства обмоточных проводов в России. Технический уровень обмоточных проводов в России находится на мировом уровне.

В статье рассмотрены причины снижения производства эмалированных проводов. Проанализированы тенденции развития эмалированных проводов за последние годы.

Ключевые слова: эмалированные провода, обмоточные провода, мировые тенденции, технический уровень, алюминий, медь, пленочная изоляция, скорость эмалирования, сухая основа лака.

Abstract. An attempt is made to analyze the state of winding wire production in Russia. The winding wire performance level in Russia is of international standard. The causes of production decline are discussed. The trends of winding wire development over the recent years are analyzed.

Key words: enameled wire, winding wire, global trends, performance level, aluminium, copper, skin insulation, enameling speed, dry varnish base.



Материал поступил в редакцию 04.09.2014
E-mail: vniikp17@mail.ru

Состояние производства и научно-технические аспекты развития обмоточных проводов в России

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

Обмоточные провода сохраняют важное место в мировом кабельном производстве. На рис. 1 представлен график

роста мирового производства эмалированных проводов за период 1995–2012 гг.

Как видно из графика, темпы роста были стабильны и достигли (как и прогнозировалось ранее) в 2012 г. 2,9 млн т.

Прогноз до 2015 г. – 3,6 млн т.

Если взглянуть на географию производства эмалированных проводов в мире, то картина показывает, что это производство смещается, и смещается главным образом в Азию.

На рис. 2 показан мировой рынок эмалированных проводов (цифры на диаграммах показывают объем рынка в тыс. т.)

Если в мире наблюдается постоянный рост производства обмоточных проводов, то в России и странах СНГ их выпуск многие годы практически не увеличивается. Самый большой провал был в 1998 г., когда выпуск этих проводов упал в 10 раз

по сравнению с 1990 г. Наши прогнозы о том, что после кризиса производство к 2013 г. может достигнуть 70–90 тыс. т, не оправдались. В 2013 г. было выпущено только 42,5 тыс. т обмоточных проводов всех типов.

Динамика производства обмоточных проводов на предприятиях Ассоциации «Электрокабель» показана на рис. 3.

Причины такой ситуации известны. К ним прежде всего относятся:

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

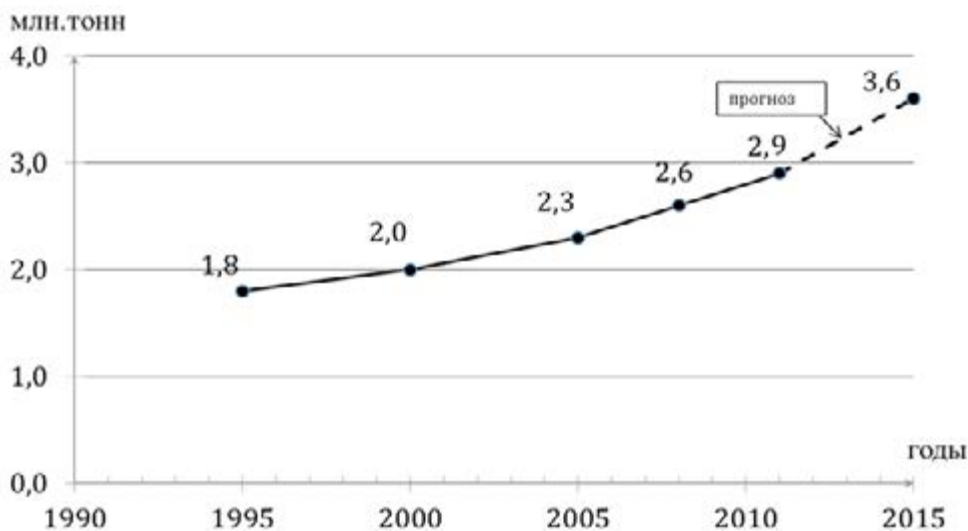


Рис. 1. Производство обмоточных проводов на мировом рынке

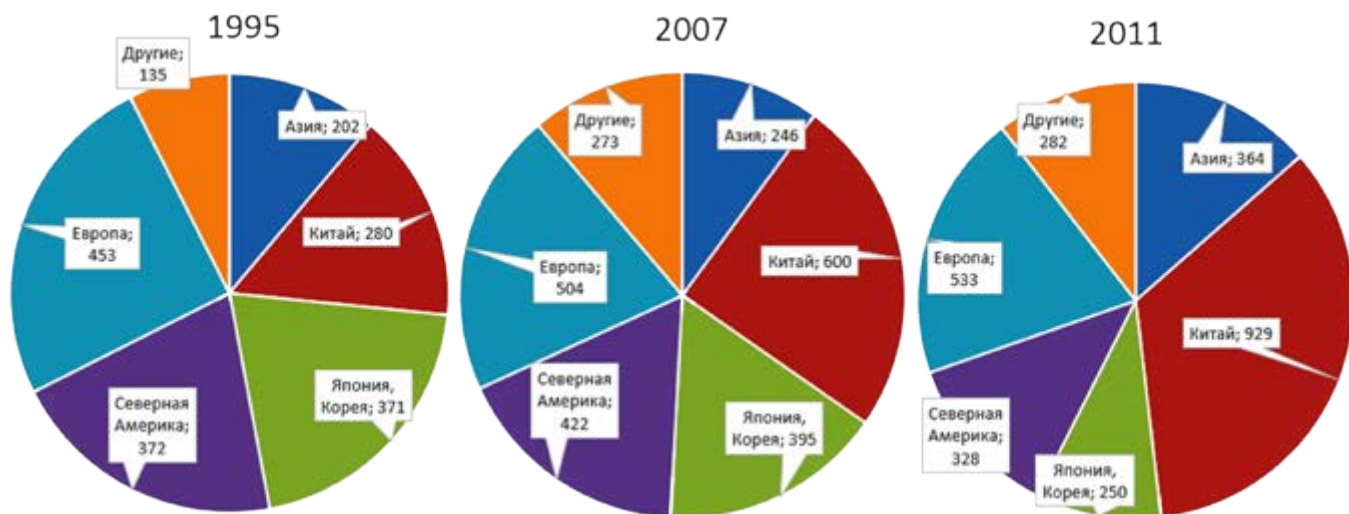


Рис. 2. Мировой рынок эмалированных проводов

приятиями оборонного комплекса, ранее потреблявшими около 30 % их общего выпуска;

- увеличение импорта бытовой техники и промышленного оборудования, в составе которых используются эмалированные провода и электродвигатели зарубежных производителей.

В связи с этим сокращается количество предприятий Ассоциации «Электрокабель», выпускающих обмоточные провода. Если в 1990 г. эмалированные провода выпускали 22 предприятия, то сегодня – только 15. Прекратили выпуск обмоточных проводов заводы «Волгакабель», «Укркабель», «Киргизкабель», «Москабель-Эмаль», «Чувашкабель» и другие.

Более активно, чем производство эмалированных проводов, развивается производство обмоточных проводов с волокнистой и другими видами изоляции. Как ни странно, востребованными стали провода с бумажной изоляцией. Объем производства этих проводов в 2013 г. достиг 20,6 тыс. т.

Динамика изменения структуры производства эмалированных проводов по классам нагревостойкости показана на рис. 4.

Анализ структуры выпуска эмалированных проводов показывает, что в целом она соответствует мировым

тенденциям. Уже к 2007 г. кабельная промышленность стран СНГ стала производить 69,5 % проводов с температурным индексом 155–200 °С, что соответствует мировой структуре производства. Это было достигнуто за счет увеличения объема производства современных электротехнических изделий. Для обеспечения их выпуска было проведено техническое перевооружение кабельных заводов, что потребовало применения высококачественных импортных лаков. Импорт эмальлаков в 2007 г. составлял 40,5 % от общего объема потребления, в 2013 г. доля импорта возросла до 82,3 %.

Мощности для производства эмалированных проводов составляют около 45 тыс. т. Многие заводы активно ведут техническое перевооружение своих производств. За последние годы полностью освоили свои производства современными эмальагрегатами ОАО «Гомелькабель», ОАО «Завод «Микропровод», ООО «Камский Кабель», ООО «Рыбинскабель» (ВолМАГ).

Преимуществами современных эмальагрегатов являются:

- совмещение волочения и эмалирования;
- высокая степень каталитического дожигания отходящих газов – до 99 %;
- стабильность технологических параметров;
- большевесная отдающая и приемная тара;
- меньший расход электроэнергии на 1 кг готового провода;
- высокие скорости эмалирования.

Использование современных высокоскоростных эмальагрегатов вызвало необходимость в применении новых типов эмальлаков.

При эмалировании проволоки на высокоскоростных эмальагрегатах происходит потеря массы полимера. Это связано с тем, что смолы, используемые в качестве основы в большинстве эмальлаков, содержат в своем составе низкомолекулярные добавки. При повышенных скоростях

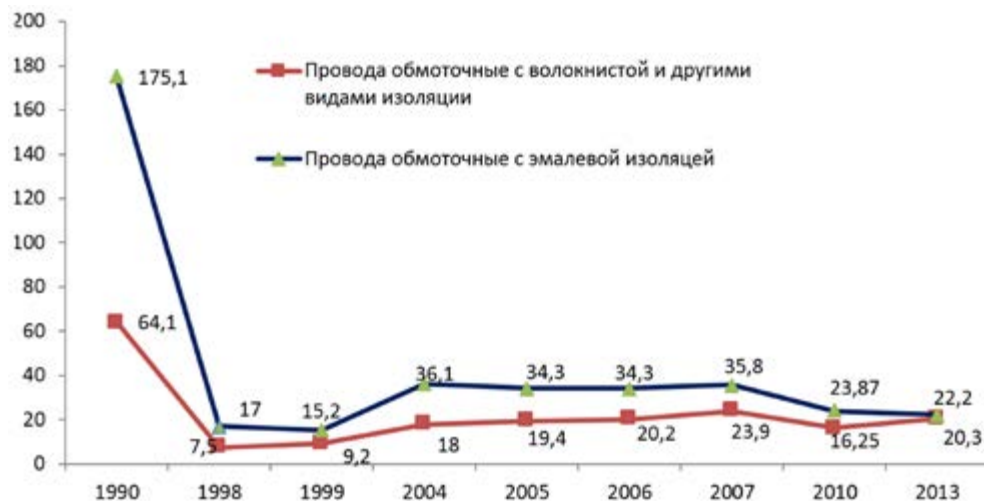


Рис. 3. Динамика производства обмоточных проводов на предприятиях Ассоциации «Электрокабель»

и высокой температуре низкомолекулярные добавки легко окисляются и уносятся в систему вентиляции. Экспериментальные исследования показали, что потери массы могут достигать 10 % и более.

При совмещении операций волочения и нанесения эмалевого покрытия движение медной жилы в обоих процессах происходит в одну сторону, дефекты медной жилы (микрозаусенцы, отслоения) заглаживаются инструментом. Заготовка медной жилы поступает на операцию нанесения лакового покрытия без хранения на промежуточном складе, что исключает ее окисление, загрязнение, повреждение. Такие технологические особенности повышают величину и стабильность электрической прочности изоляции по всей длине провода.

Современные станки оснащены активными измерительными устройствами, позволяющими регистрировать фактическое количество дефектов эмалевого покрытия во всех диапазонах диаметров, измеренное при высоком напряжении по всей длине эмалированного провода. При этом не происходит разрушения эмалевого покрытия.

Таким образом, можно констатировать, что технический уровень обмоточных проводов в России и странах СНГ находится на мировом уровне.

Учитывая высокую разницу в цене меди и алюминия, которая отличается в настоящее время приблизительно в 3,8–4,0 раза, потребители обмоточных проводов стали проявлять интерес к алюминиевым обмоточным проводам. При этом основные технические характеристики алюминиевых проводов (механические параметры, эластичность изоляции) хуже, чем у медных (табл. 1).

Алюминиевые эмальпровода более трудоемки в изготовлении по следующим причинам:

- в связи с низкой механической прочностью алюминий менее технологичен в переработке (большая обрывность при волочении и эмалировании);

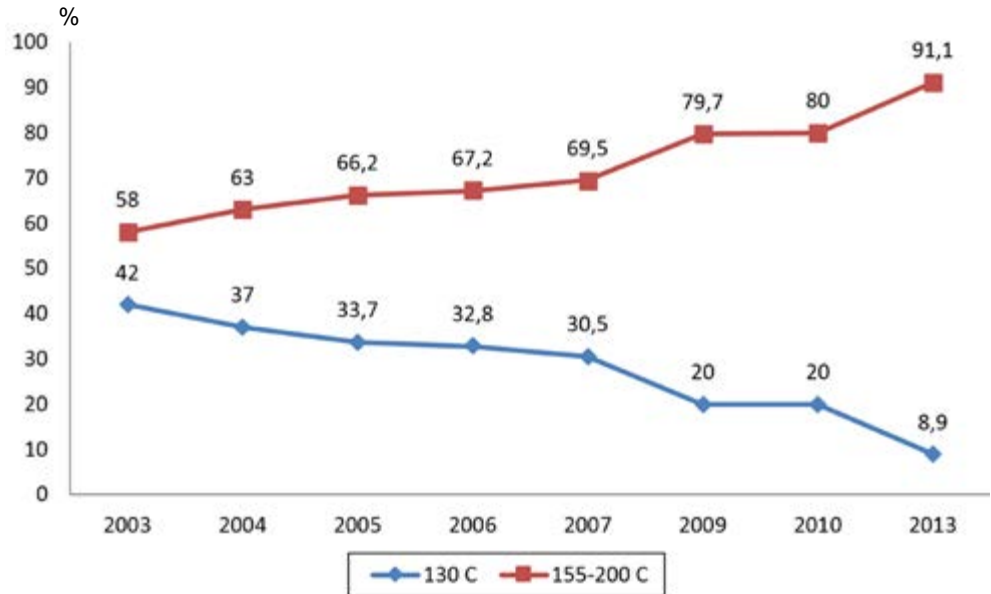


Рис. 4. Динамика изменения структуры производства эмалированных проводов по классам нагревостойкости

- в связи с низкой температурой плавления наблюдается эффект прилипания алюминиевой проволоки к конструктивным элементам эмальагрегата, поэтому необходима специальная конструкция эмальстанка;

- в связи с каталитическим действием алюминия на лак возникает необходимость в предварительном нанесении праймера, для улучшения адгезии, который не улучшает параметры эмальпровода с алюминиевой токопроводящей жилой. Требуется дополнительный лаковый узел для его нанесения;
- затруднено использование технологии совмещения эмалирования и волочения.

Алюминиевые эмальпровода по данным электромашиностроителей наиболее выгодно применять в однофазных электродвигателях малой мощности. При этом стоимость электродвигателей снижается на 20 %.

Более целесообразным представляется расширение использования алюминия в производстве обмоточных проводов со стекловолоконистой и бумажной изоляцией, технология изготовления которых проще и не требует дополнительной модернизации оборудования. Структура выпуска обмоточных проводов на предприятиях отрасли представлена в табл. 2.

Таблица 1

Сравнительные характеристики эмальпроводов

Характеристики (для проводов диаметром 1 мм)	МЭК 60317-0-1 (Cu)	МЭК 60317-0-3 (Al)
Электрическое сопротивление жилы, Ом·м	0,2176	0,3552
Относительное удлинение, не менее	30,0 %	13,0 %
Эластичность изоляции	1d	3d
Тепловой удар	2,24 мм	3d

Таблица 2

Динамика изменения выпуска алюминиевых обмоточных проводов

Показатели	2010 г.	2011 г.	2013 г.
Обмоточные провода с эмалевой, волокнистой и другими видами изоляции, тыс. т	40,2	43,1	42,5
Удельный вес выпуска обмоточных проводов с алюминиевой жилой в общем объеме обмоточных проводов, %	11,2	13,2	17,6

Основные характеристики обмоточных проводов со стекловолоконистой и пленочной полиимидно-фторопластовой изоляцией

Характеристики	Стекловолоконистая изоляция	Пленочная полиимидно-фторопластовая изоляция
Диапазон выпускаемых проводов: номинальный диаметр жилы, мм	0,315 ÷ 5,200	1,060 ÷ 3,150
Толщина изоляции, мм	0,140 ÷ 0,300	0,160 ÷ 0,240
Механическая прочность, число двойных ходов иглы диаметром 0,4 мм	Минимальное 90 Среднее 130	Минимальное 125 Среднее 150
Пробивное напряжение, В	300 ÷ 550	не менее 12 000

Основные тенденции в области производства обмоточных проводов в России:

1. Если сохранится тенденция по стоимости проводниковых материалов (медь и алюминий), то производство обмоточных проводов с алюминиевой жилой будет расти.

2. Увеличение производства обмоточных проводов крупных сечений возможно с планируемым развитием трансформаторостроения и электродвигателей большой мощности.

3. Рост потребности в эмалированных проводах возможен за счет развития электромобилей. Если в настоящее время потребность в эмалированных проводах на автомобиль составляет в среднем 4 кг, то на гибридный автомобиль – 8,2 кг, а на электромобиль – 10,6 кг.

4. Развитие ветроэнергетики также требует новых типов обмоточных проводов для электроветрогенераторов.

5. Отсутствие исходных компонентов для производства эмальлаков не позволило организовать их производство в требуемых объемах.

6. Отсутствие заградительных таможенных пошлин на ввозимую в Россию электротехническую продукцию вызывает рост импорта низкокачественных изделий из Азии, что сдерживает развитие отечественного электромашиностроения.

7. Без государственной поддержки невозможна дальнейшая модернизация электромашино- и трансформаторостроения.

В России выпускаются все виды обмоточных проводов. А именно: эмальпровода, провода с волоконистой, бумажной и пленочной изоляцией. В качестве волоконистой изоляции в основном используется стекловолокно. Провода с бумажной изоляцией в основном используются в трансформаторостроении, и спрос на них будет стабилен. Спрос на провода со стекловолоконистой изоляцией, используемые в транспортном электромашиностроении, сохраняется вследствие их высокой надежности при работе в условиях токовых перегрузок и низких цен.

В связи со снижением цен на полиимидно-фторопластовую пленку с 200 до 70 долл. США за кг возможен рост производства проводов с пленочной полиимидно-фторопластовой изоляцией. Эти провода обладают по сравнению с проводами со стекловолоконистой изоляцией повышенными механическими и электроизоляционными характеристиками (табл. 3):

- пробивное напряжение до 20 кВ;
- повышенная механическая прочность на истирание;
- возможность работы в условиях воздействия влаги и агрессивных сред.

С внедрением частотного способа регулирования скоростей вращения электроприводов, построенных на базе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, возникла проблема со сроком службы этих двигателей. Это связано с воздействием на изоляцию обмоток коронных разрядов, возникающих при частотном регулировании. Происходит быстрое старение изоляции, что сказывается на сроке службы электродвигателя.

Эмальпровода с изоляцией на основе стандартных эмальлаков не обладают стойкостью к воздействию

коронных разрядов. Для решения проблемы стойкости электродвигателей при частотном регулировании в ОАО «ВНИИКП» была разработана конструкция эмальпровода, стойкого к воздействию коронных разрядов. Срок службы разработанного провода в 3 раза выше, чем у проводов, выпускаемых серийно.

Несколько слов о состоявшихся и несостоявшихся прогнозах в тенденции развития эмалированных проводов.

Последние 40 лет проводились работы по увеличению температурного индекса эмалированных проводов. Планировалось, что он должен достигнуть ТИ 200 и выше. Разрабатывались новые эмальлаки. Проводилась модернизация электродвигателей и аппаратов. Однако, в практике массово стали применяться провода с ТИ 155-180. Значительно повысить температуру эксплуатации проводов не удалось из-за больших тепловых потерь, а также в связи с необходимостью помимо эмальпроводов применения других материалов высокой нагревостойкости.

С целью обеспечения норм экологической безопасности в мире наблюдалась тенденция по переводу производства эмалированных проводов с токсичных растворителей на водорастворимые лаки. Однако водорастворимые лаки не обеспечивали высокое качество эмальпроводов, как это обеспечивали крезольные лаки. Кроме того, в связи с совершенствованием конструкции и систем дожигания отходящих газов в эмальагрегатах, очистку токсичных крезолосодержащих газов довели до 99 %, при этом обеспечив экономию электроэнергии, так как при сжигании растворителей выделяется тепло, вторично используемое для нагрева проводов в печи.

В 70–80 гг. была попытка в России, Австрии и США эмалировать провода из расплава смол. В настоящее время данная технология не применяется.

В последние годы идет гонка за увеличением скорости эмалирования. Планировалось доведение ее до VD 200 и выше. Реально VD 200 достигнута, но на практике целесообразно и экономично использовать скорость VD 100–150 по следующим причинам:

- с повышением скорости повышаются отходы медной проволоки и увеличивается унос (выброс) твердой основы лака;
- в связи с недозагрузкой мощностей по производству эмальпроводов увеличение скорости не дает реальной экономии.

Были попытки увеличить содержание твердой основы в лаке до 65 %. В реальности сегодня используются лаки с содержанием сухой основы в среднем 28–32 %, максимум – 39 %.

Вместе с тем ряд тенденций, наметившихся в прошлые годы, сегодня реализованы. К их числу относятся:

- каталитическое сжигание при высокой температуре;
- нагрев проводов в печи с помощью конвекционного обмена;
- двух- и трехслойное эмалирование проводов;
- увеличение количества проходов при эмалировании до 20–25;
- совмещение процессов волочения, отжига и эмалирования.