

# ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭМАЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ В СОСТАВЕ КОНСТРУКЦИИ НЕФТЕПОГРУЖНЫХ КАБЕЛЕЙ

## EXPERIENCE OF USING ENAMELLED WIRES IN OIL-SUBMERSIBLE CABLE CONSTRUCTIONS

Y.A. Zelenetsky, Ltd. "Cable Technologies"

Ю.А. Зеленецкий, ООО «Кабельные Технологии»

**Аннотация.** В статье рассматривается практика применения в составе конструкции нефтепогружного кабеля эмалевой изоляции.

Применение эмалевой изоляции увеличивает надёжность, снижает массогабаритные характеристики нефтепогружного кабеля.

**Ключевые слова:** нефтепогружной кабель, эмалевая изоляция, термореактивный полимер, тепловое сопротивление изоляции кабеля, массогабаритные характеристики кабеля, полиимидно-фторопластовая плёнка

**Abstract.** The article is concerned with the efficiency of using enamel insulation in the constructions of oil-submersible cables. The use of enamel insulation enhances the reliability, decreases the mass and size characteristics of oil-submersible cables.

**Key words:** oil-submersible cable, enamel insulation, thermosetting polymer, thermal resistance of cable insulation, cable mass and size characteristics, polyimide-fluoroplastic film

*Материал поступил в редакцию 26.04.2023*

*E-mail: zelenezky47@mail.ru*

Повышение надёжности нефтепогружных кабелей (НПК) является актуальной задачей. Эксплуатация нефтедобывающих скважин приводит со временем к истощению нефтеносного пласта. Нефтедобывающие предприятия вынуждены применять средства повышающие дебет нефтеносного пласта, увеличивать глубину скважин. Соответственно изменяются и условия эксплуатации нефтепогружных кабелей. Возрастают температура и давление окружающей среды. В составе пластовой жидкости присутствуют значительное количество воды, химические вещества, различные газы. Эти изменения нашли отражение в нормативных документах нефтедобывающих компаний.

В частности, в соответствии с Едиными техническими требованиями компании «РОСНЕФТЬ» № П1001.05 М-0005 Версия 6,0 [1], пластовая жидкость представляет собой смесь нефти, попутной воды, минеральных примесей и нефтяного газа. Максимальное содержание воды 100 %; водородный показатель PH 5,0–8,5; максимальное содержание агрессивных

компонентов в пластовой жидкости (г/л): H<sub>2</sub>S – 1,25, CO<sub>2</sub> – 1,15, Cl – 75, HCO<sub>3</sub> – 1, Ca<sup>2+</sup> – 9; максимально допустимое давление 40 МПа.

Изменения условий эксплуатации снижают надёжность серийных кабелей, что, в свою очередь, вынуждает предприятия, производящие нефтепогружные кабели, разрабатывать новые конструкции кабелей.

Для обеспечения устойчивой работы используется широкий спектр полимерных материалов изоляции кабелей. ГОСТ Р 51777–2001 [2] рекомендует следующие материалы для изоляции:

- плёнка полиимидно-фторопластовая;
- лаковая (эмалевая) изоляция;
- полиэтилен высокой плотности вулканизированный;
- композиции полипропилена;
- резины на основе этиленпропиленового каучука;
- термоэластопласты.

В данной статье рассматривается опыт использования эмаливой изоляции в составе конструкции нефтепогружных кабелей.

Эмаливая изоляция является терморезистивным полимером и имеет ряд преимуществ по сравнению с другими видами изоляции.

Механические и электрические свойства термoplastических полимеров характеризуются постепенным снижением параметров по мере повышения температуры до температуры плавления. В то же время значительные изменения параметров терморезистивных полимеров происходят при температурах близких к температуре деструкции.

На рис. 1 можно сравнить графики нарастания тока утечки резины ЭПДМ и полиэфиримидной эмаливой изоляции в зависимости от температуры испытаний. Токи утечки (вертикальная ось) показаны в относительных единицах для демонстрации характера кривой изменения тока утечки в зависимости от температуры (горизонтальная ось). Для практического применения необходимо рассматривать показатели конкретных марок резины и эмаливой изоляции. Из графиков видно, что токи утечки ЭПДМ начинают нарастать практически сразу после начала повышения температуры. Ток утечки полиэфиримидной изоляции остаётся стабильным до температуры, значительно превышающей температурный индекс равный 155 °С.

В табл. 1 показаны сравнительные свойства полиэтилена и ЭПДМ, широко применяемых для произ-

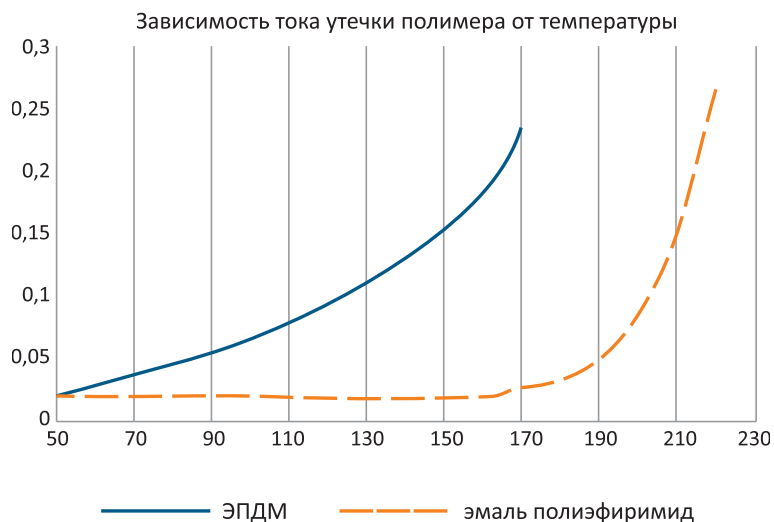


Рис. 1. Сравнительные характеристики устойчивости полимерной изоляции к температурному перегреву

водства нефтекабелей с полиамидимидной и полиимидной изоляцией. В табл. 1 использованы данные из открытых источников и результаты испытаний в лаборатории ООО «Завод Микропровод». В табл. 1 представлены усреднённые показатели, являющиеся характерными для указанных в таблице материалов. Для практического применения необходимо сравнивать показатели материалов конкретных марок.

Устойчивость эмаливой изоляции к перегреву без потери электрических свойств повышает надёжность кабеля.

Таблица 1  
Полимерные материалы для нефтепогружного кабеля.  
Сравнительные свойства

Материал	Рабочая температура, °C	Пластовая жидкость	Кесонная болезнь	Механика	Удельные электрические характеристики	Морозостойкость -60 °C	Примечание
Полиэтилен сшитый	130	НВ	НВ	В	40 кВ/мм	В	
Этиленпропилен новый эластопласт ЭПДМ	160	НВ	НВ	В	30 кВ/мм	В	Под воздействием температуры полимер теряет механические свойства
Полиамидимид новый материал	200	В	В	ВВ	100 кВ/мм	В	Полимер устойчив к продавливанию при воздействии температуры
Полиимид Полиимидно-фторопластовая плёнка	220	В	В	ВВ	120 кВ/мм	В	

В – выдержали испытания; НВ – не выдержали испытания; ВВ – выдержали испытания с запасом



Принципиальным является то, что высокие электрические свойства эмалевой изоляции стабильны по всей длине эмалированного провода и проявляют себя при малых, менее 0,1 мм, толщинах.

Использование эмалевой изоляции, имеющей малую толщину, снижает габариты нефтепогружного кабеля, снижает тепловое сопротивление изоляции кабеля, что способствует повышению теплового потока от жилы на внешние элементы конструкции нефтепогружного кабеля.

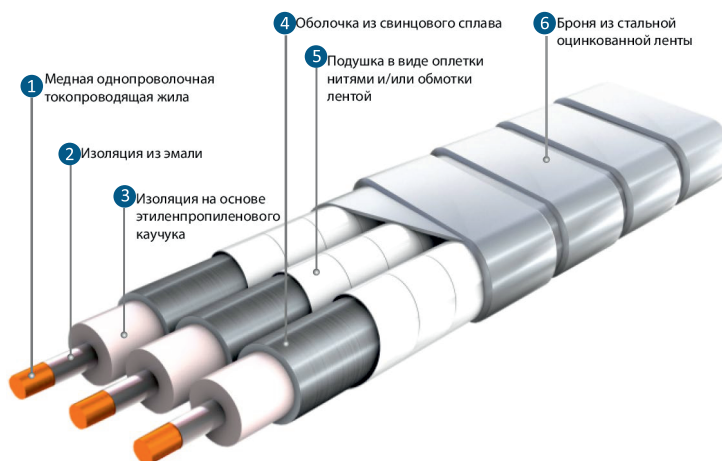
Предприятие ООО «РОССКАТ» совместно с ООО «Завод Микропровод» разработали конструкцию нефтепогружного кабеля, в которой в качестве первого электроизоляционного слоя использована полиэфиримидная эмалевая изоляция, в качестве второго слоя – этиленпропиленовая резина. Применение эмалевой изоляции позволило снизить общую толщину электрической изоляции кабеля, что значительно снизило последующее покрытие свинцом и броней.

Снижение расхода материалов, имеющих высокий вес, привело к снижению веса и стоимости, что компенсировало удорожание из-за применения эмалевой изоляции.

Сравнительные расчёты стоимости кабелей во многом зависят от выбора конкретных геометрических показателей и стоимости термопластичных полимеров. В целом можно отметить, что снижение стоимости кабелей достигается за счёт снижения расхода материалов, имеющих высокий удельный вес: свинца и брони. Кабели без свинцовой оболочки стремятся к некоторому удорожанию.

Снижение толщины электрической изоляции увеличивает тепловой поток от жилы на внешние

### КЛЭСБП-230



Меньшая толщина изоляции, лучшая экономика

#### Габариты

Серийный кабель КПвПпоБП-130	3х16	14,5 x 34,7 мм
Серийный кабель КПвСБП-180	3х16	14,1 x 34,5 мм
Новый кабель КЛЭСБП-230	3х16	12,3 x 30,1 мм

#### Вес

Серийный кабель КЭСБП-230	3х16	1866,0 кг/км.
Новый кабель КЛЭСБП-230	3х16	1557,65 кг/км (83%)

Увеличение ёмкости кабельного барабана

Снижение нагрузки на грузоподъёмные механизмы

Снижение логистических затрат

Рис. 2. Сравнительные массогабаритные характеристики серийных кабелей и кабелей с эмалевой изоляцией

элементы конструкции кабеля, позволяет снизить температуру токопроводящей жилы и, соответственно, снизить активные электрические потери.

В табл. 2 показан конкретный расчёт снижения потерь в кабеле с эмалевой изоляцией. Необходимо отметить, что снижение габаритов кабеля приводит к снижению эффективной площади теплоотдачи и, соответственно, к сниже-

Таблица 2

Сравнительный расчёт активных электрических потерь в кабеле

Тср, °С	20		60		100	
	КПвПпоБП-130 3х16	КЛЭСБП-230 3х16	КПвПпоБП-130 3х16	КЛЭСБП-230 3х16	КПвПпоБП-130 3х16	КЛЭСБП-230 3х16
Тж, °С	38,2	27,75	81,1	69	124,3	110,8
Потери в кабеле, кВт·час/км	1,82	1,76	2,12	2,03	2,42	2,32
Снижение потерь, кВт·час/км, %	0,06 (3,2 %)		0,09 (4,2 %)		01 (4,1 %)	

Снижение толщины изоляции улучшает теплоотвод и, как следствие, температуру жилы.

Исходные данные:  
 - электродвигатель ПЭДС100-117МВ5; - номинальное напряжение 2000 В;  
 - мощность 100 кВт; - номинальный ток 38,5 А;  
 - сечение жил кабеля 3х16 мм².

Тср, °С	80		160		229	
Кабель	КЭСБП-230 3×10	КЛЭСБП-230 3×16	КЭСБП-230 3×10	КЛЭСБП-230 3×16	КЭСБП-230 3×10	КЛЭСБП-230 3×16
Потери в кабеле, кВт·час/25 м	0,425	0,267	0,535	0,336	0,630	0,395
Снижение потерь, кВт·час/25м, %	0,158 (37,2 %)		0,199 (37,1 %)		0,234 (37,1 %)	
Габариты кабеля КЛЭСБП-230 3×16 с эмалированной ТПЖ 12,3×30 мм Габариты серийного кабеля КЭСБП-230 3×10 – 12,9×31,9 мм Следовательно, в качестве удлинителя можно применить кабель КЛЭСБП-230 3×16 Применение кабеля большего сечения снижает активные потери			Исходные данные: - электродвигатель ПЭДС100-117МВ5; - мощность 100 кВт; - номинальное напряжение 2000 В; - номинальный ток 38,5 А; - сечение жил кабеля 3×16 мм <sup>2</sup> .			

нию теплового потока. Расчёты показывают, что, начиная с сечения кабеля 13,3 мм<sup>2</sup>, тепловой поток снижается. Расчёт необходимо производить при выборе конкретной толщины и марки термопластичных полимеров, подушки, а также металлических оболочек. При конструировании кабелей сечением менее 13,3 мм<sup>2</sup> необходимо учитывать в большей мере эффект снижения габаритов и повышения надёжности кабелей за счёт применения эмалевой изоляции.

При конструировании нефтедобывающей установки зачастую применяют в качестве удлинителя, расположенного в пространстве между обсадной трубой и насосом, кабель, который имеет меньшее сечение по сравнению с основным кабелем. Это необходимо для экономии пространства между насосом и обсадной трубой. В то же время снижение площади сечения приводит к увеличению плотности тока на участке удлинителя и соответствующему увеличению температуры жилы удлинителя. Удлинитель находится в зоне интенсивного выделения тепла насосом и электродвигателем установки. Эти два фактора приводят к необходимости использования в качестве удлинителя кабель с электрической изоляцией, имеющей более высокую температурную устойчивость и, соответственно, имеющей более высокую цену.

Для применения в качестве удлинителя целесообразно использовать кабель с эмалевой изоляцией. Из табл. 3 видно, что габариты кабеля КЛЭСБП-230 сечением 3×16 меньше габаритов кабеля КЭСБП-230 сечением 3×10. Следовательно, в качестве удлинителя можно применить кабель с эмалевой изоляцией сечением, соответствующим основной длине кабеля.

Применение в качестве удлинителя кабеля одинакового с основной длиной сечения в значительной степени облегчает тепловой режим работы удлинителя и повышает надёжность работы установки в целом.

В течение 2020–2021 гг. ООО «Завод Микропровод» изготовил для ООО «РОССКАТ» более 15 т эмалированного провода сечением 16 мм<sup>2</sup>.

### ВЫВОД

Применение эмалевой изоляции в составе НПК позволяет снизить массогабаритные характеристики кабеля, повысить надёжность нефтедобывающей установки в целом.

### Список источников

1. Единые технические требования компании «РОСНЕФТЬ» № П1001.05 М-0005 Версия 6,0.  
URL: <https://www.rosneft.ru>
2. ГОСТ ОТУ Р 51777–2001. Кабели для установок погружных электронасосов. Общие технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 18 с.  
URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200025423>

### List of References

1. ROSNEFT Unified technical specifications. No. P1001.05 M-0005 Version 6, 0.  
URL: <https://www.rosneft.ru>
2. GOST OUT R 51777–2001. Cables for installations of submersible electric pumps. General specifications. – М.: IPC Publishing House of Standards, 2001. – 18 p.  
URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200025423>