

Д.В. Новиков, канд. техн. наук, заведующий отделением;
Д.А. Харченко, заведующий лабораторией;
ОАО «ВНИИКП»

Кабели для электропитания установок электроцентробежных насосов добычи нефти

Истощение «легких» скважин небольшой глубины и необходимость увеличения объема добычи нефти потребовали использования механизированных способов добычи нефти, например, таких, как установки электроцентробежных насосов (УЭЦН), что, в свою очередь, потребовало создания кабелей для питания электродвигателей этих установок.

Принципиальная схема оборудования скважин для добычи нефти с помощью электроцентробежных насосов изображена на рис. 1.

Кабельная линия для УЭЦН размещается в пространстве между обсадной трубой и насосно-компрессорной трубой и крепится к последней специальными клямсами, что должно уменьшать вероятность повреждения брони кабеля при спускоподъемных операциях и предотвращать скручивание кабеля во время выполнения этой операции.

Условия эксплуатации кабелей являются чрезвычайно жесткими – комплексное воздействие повышенной температуры, высокого гидростатического давления и агрессивной эксплуатационной среды; затрудненные условия теплоотвода от кабеля;

механические воздействия; высокий газовый фактор скважинной жидкости; перепад давления и температуры по длине кабельной линии во время эксплуатации; скачки температуры при «срыве потока» на насосно-компрессорной группе.

Согласно общепринятой схеме электропитания УЭЦН осуществляется с помощью кабельных линий, состоящих из основного питающего кабеля и герметически соединенного с ним с помощью муфты высокотемпературного кабеля-удлинитель. Основной кабель, в свою очередь, может состоять из нескольких отрезков кабелей

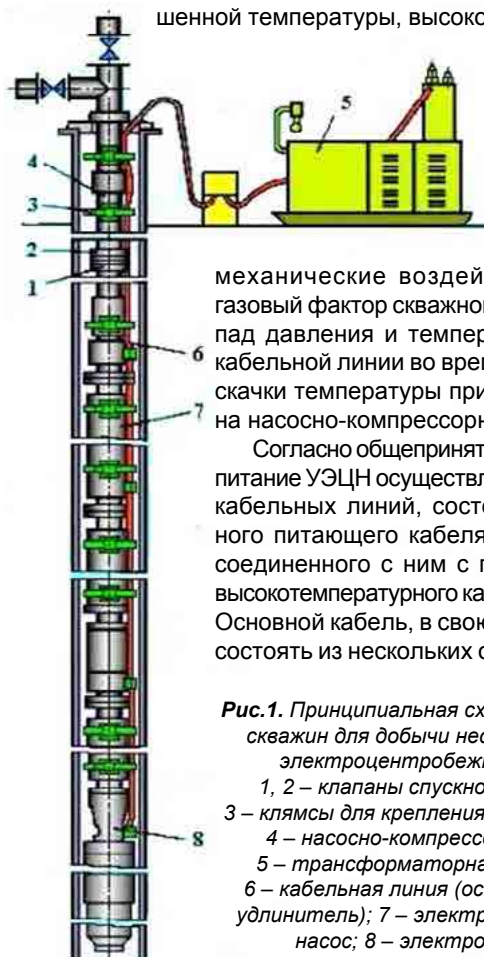


Рис. 1. Принципиальная схема оборудования скважин для добычи нефти с помощью электроцентробежных насосов:

- 1, 2 – клапаны спускной и обратный;
- 3 – клямсы для крепления кабельной линии;
- 4 – насосно-компрессорные трубы;
- 5 – трансформаторная подстанция;
- 6 – кабельная линия (основной кабель + удлинитель);
- 7 – электроцентробежный насос;
- 8 – электродвигатель

различных конструкций и теплостойкости, также герметично соединенных между собой. Основной кабель располагается по длине насосно-компрессорных труб, кабель-удлинитель – по длине погружного агрегата установки (двигатель + насос). Типовая конструкция кабеля для УЭЦН приведена на рис. 2.

Модернизация кабелей и освоение новых конструкций проводились по мере усложнения условий эксплуатации, освоения новых регионов нефтедобычи, углубления скважин.

На первых стадиях внедрения УЭЦН, отечественной кабельной промышленностью были разработаны и освоены кабели марок КРБК и КРБП для этих установок. Кабели имели резиновую изоляцию на рабочую температуру до 65 °С и резиновые оболочки, допускающие динамические изгибы при температурах не ниже минус 30 °С. Кабели марок КРБК и КРБП были рассчитаны на номинальное рабочее напряжение 1000 В и гидростатическое давление жидкости

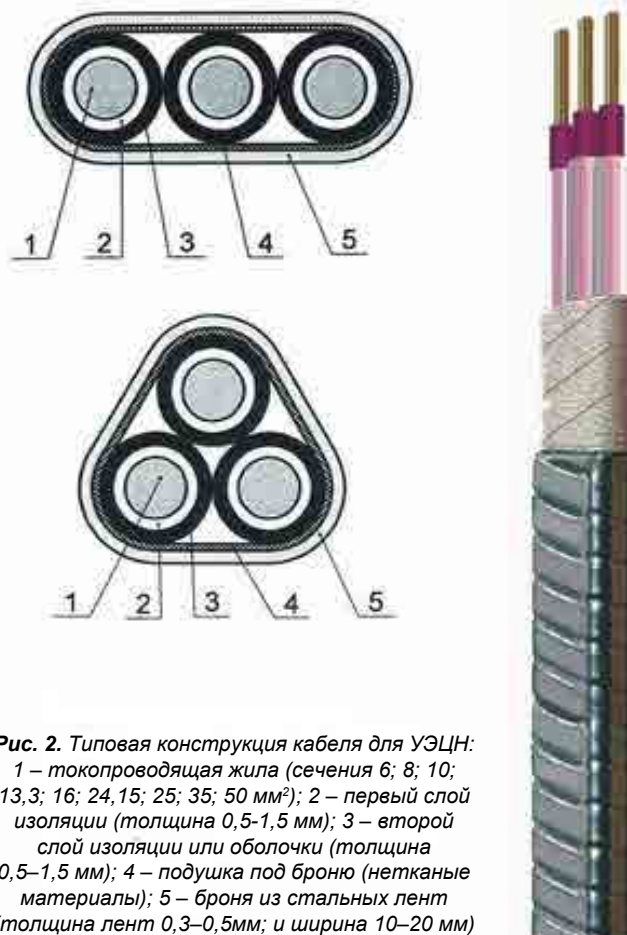


Рис. 2. Типовая конструкция кабеля для УЭЦН:

- 1 – токопроводящая жила (сечения 6; 8; 10; 13,3; 16; 24,15; 25; 35; 50 мм²);
- 2 – первый слой изоляции (толщина 0,5-1,5 мм);
- 3 – второй слой изоляции или оболочки (толщина 0,5-1,5 мм);
- 4 – подушка под броню (нетканые материалы);
- 5 – броня из стальных лент (толщина лент 0,3-0,5мм; и ширина 10-20 мм)

в скважине до 10 МПа. Кабель марки КРБК выпускался в общей шланговой оболочке, кабель марки КРБП – в общей оболочке и с отдельно ошлангованными жилами. К основным недостаткам кабелей марок КРБК и КРБП можно было отнести их низкую газостойкость и реально невозможность их ремонта после подъема установки из скважины.

С увеличением глубин нефтяных скважин ужесточились условия эксплуатации – увеличение температур и давления. Кроме того, добыча нефти с большей глубины потребовала увеличить мощности погружных установок и, как следствие, увеличение питающего напряжения до 2300 В и выше. Также одним из новых требований, выдвинутых тогда нефтяниками, было обеспечение производства круглых и плоских кабелей только с отдельно ошлангованными жилами; это требование диктовалось внедрением новых технологий сращивания и муфтования кабелей, применяемых ведущими зарубежными фирмами. Помимо этого, к кабелям стало предъявляться требование по ремонтпригодности.

Для данных условий эксплуатации были разработаны кабели с изоляцией из полиэтилена высокой плотности марок КПБК и КПБП. Эти кабели были рассчитаны на номинальное рабочее напряжение 3300 В, температуру окружающей среды (скважинной жидкости) до 90 °С с газовым фактором 500 м³/м³, гидростатическое давление до 25 МПа и динамические изгибы при температуре не ниже минус 40 °С (в статике – до минус 60 °С).

Дальнейшее увеличение глубин скважин потребовало создания более теплостойких кабелей для нижних участков (вставок) кабельных линий. Тем более, что зарубежные фирмы REDA, Centrilift, BIW и др. уже имели такие кабели с изоляцией из этиленпропиленовой резины на рабочие температуры от 130 до 200 °С.

В 1985 г. во ВНИИ КП была создана лаборатория кабелей для питания погружных электронасосов, которая в 1986–1988 гг. разработала первые отечественные теплостойкие кабели для погружных установок на температуры окружающей среды 110 °С и 160 °С.

Кабели на температуру 110 °С имели изоляцию из полиимидно-фторопластовой пленки, термоэластопласта, а оболочки жил – из термоэластопласта; кабели на 160 °С – изоляцию из полиимидно-фторопластовой пленки, фторопласта и оболочки жил из свинцового сплава.

В 90-е годы прошлого века был создан ряд кабелей с полипропиленовой изоляцией на температуру окружающей среды от 95 до 130 °С.

С целью обеспечения единого технического подхода к кабельной продукции для нефтедобывающей отрасли, назрела необходимость в разработке государственного стандарта на кабели для УЭЦН, устанавливающего общие требования к материалам, конструкциям, стойкости кабелей к эксплуатационным средам, методам контроля и обозначения кабелей. В рамках решения этих задач ОАО «ВНИИ КП» при активном участии ОАО «ЛУКОЙЛ» разработало в 2001 г. ГОСТ Р 51777–2001 «Кабели для установок погружных электронасосов. Общие технические условия».

Указанный стандарт разработан на основе изучения конструкций кабелей ведущих зарубежных фирм, обобщения опыта использования отечественных и импортных кабелей на нефтепромыслах России в различных условиях эксплуатации.

В 2003–2006 гг. ОАО «ВНИИ КП» были разработаны и испытаны на нефтепромыслах теплостойкие кабели на рабочие температуры 200 и 230 °С следующих марок:

- КЭСБП-200 – с изоляцией из специальной композиции на основе этиленпропиленовой резины и свинцовыми оболочками жил;

- КИЭСБП-230 – с изоляцией из полиимидно-фторопластовой пленки, специальной композиции на основе этиленпропиленовой резины и свинцовыми оболочками жил.

До недавнего времени вышеуказанные кабели, а также другие кабельные изделия для нефтепогружных насосов (например, кабели с радиационно-модифицированной изоляцией) позволяли почти полностью обеспечить потребности нефтяных компаний. В последние годы вводятся в эксплуатацию новые месторождения (например, месторождение Рогожническое, Сургутнефтегаз). Эксплуатационная среда на таких месторождениях отличается повышенной агрессивностью. Для питания более мощных электронасосов на этих скважинах потребовалось создание кабелей, способных работать в таких условиях и имеющих рабочее напряжение 4 и 5 кВ. Среди обширной гаммы силовых кабелей для питания нефтепогружных насосов, предлагаемой кабельными заводами России и зарубежья, можно выделить несколько типов, кабельных изделий, которые могут применяться в условиях повышенной агрессивности эксплуатационной среды. К таким кабелям относятся кабели с изоляцией из блоксополимера пропилена с этиленом с длительно допустимой температурой нагрева жил до 120 °С (с применением в качестве бандаж изолированных жил, выполненного из пленок, стойких к воздействию агрессивной среды). Однако из-за недостаточной для глубоких скважин теплостойкости эти кабели применяются в основном в качестве основной части кабельной линии (на верхних участках).

В качестве кабельных удлинителей, а также термовставок на нижних участках основной линии применяются:

- кабели с изоляцией из специальной композиции на основе этиленпропиленовой резины с освинцованными жилами с длительно допустимой температурой нагрева токопроводящих жил 200 и 230 °С (кабельные удлинители). Кабели данного типа отличаются хорошими эксплуатационными характеристиками, но к недостаткам их можно отнести высокую массу, обусловленную применением свинцовых оболочек изолированных жил;

- кабели с изоляцией из фторсополимеров с длительно допустимой температурой нагрева жил до 230 °С (кабельные удлинители). Наряду с хорошими эксплуатационными свойствами, кабели имеют свои недостатки, к которым можно отнести высокую стоимость, а также недостаточную отработанность технологии производства, что не обеспечивает стабильного качества.

Таким образом, среди материалов для эксплуатации в агрессивной скважинной среде можно выделить блоксополимер этилена с пропиленом (с использованием защиты пленками), этиленпропиленовой резины (с использованием защиты свинцовыми оболочками) и фторсополимеры.

Некоторые технологические аспекты производства кабелей для УЭЦН

Особенностью некоторых типов применяемых в кабелях для УЭЦН полимерных материалов (особенно полиэтиленов и фторполимеров) является возникновение усадки изоляционного покрытия после наложения. Усадка является одним из факторов, ограничивающих максимальную скорость изготовления. При несоблюдении температурных режимов переработки и охлаждения, а также при нарушении скоростных режимов в покрытии возникают «замороженные» внутренние напряжения, которые приводят к последующему возникновению усадки покрытия, результаты которого показаны на рис. 3.

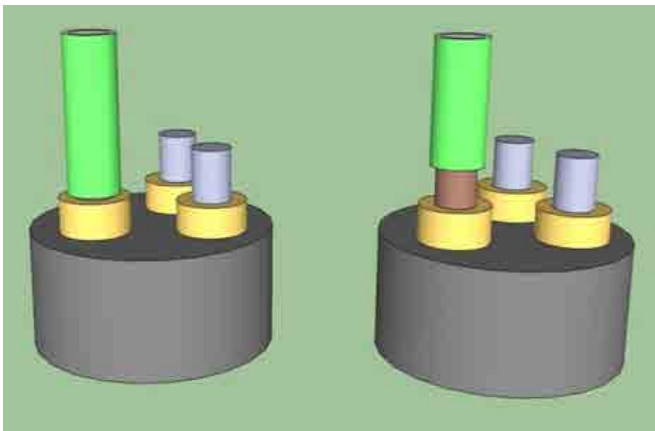


Рис. 3. Схематическое изображение муфты кабельного ввода: слева – усадка отсутствует; справа – наличие усадки изоляции

При наложении брони на изолированные жилы важно соблюдать усилия натяжения стальных лент. Чрезмерное усилие при наложении может привести к деформации покрытия жил. В свою очередь недостаточное усилие приведет к смещению жил относительно друг друга и к увеличению габаритов кабеля, что недопустимо в условиях ограниченного пространства размещения кабеля (рис. 4).

Таким образом, в настоящее время можно выделить несколько основных задач в этой области:

- несмотря на то, что рынок кабельной продукции динамично развивается, остается нерешенным ряд проблем. ГОСТ Р 51777–2001 уже не в полной мере соответствует современным требованиям. Назрела необходимость переработки указанного стандарта с учетом новых требований, выдвигаемых нефтяными компаниями в связи с ужесточением условий эксплуатации, а также с появлением новых материалов;

- необходимо создание новых материалов для оболочек, непроницаемых для эксплуатационных жидкостей, стойких к воздействию агрессивной среды новых месторождений, с отработанной технологией переработки, на температурный диапазон эксплуатации 150–230 °С;

- отдельно необходимо сказать несколько слов о бронеленте.

В настоящее время заводами-изготовителями применяются бронеленты толщиной 0,3–0,5 мм, шириной 10–20 мм, выполняемые из:

- стальной оцинкованной ленты (преимущественно гальваническим способом);

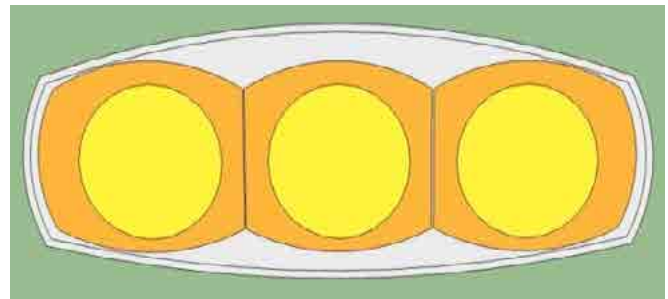
- нержавеющей стали; недостатком такой бронеленты является повышенная жесткость, которая приводит к проблемам при изготовлении кабеля;

- монель-металл (сплав никеля и меди); его недостаток – высокая стоимость.

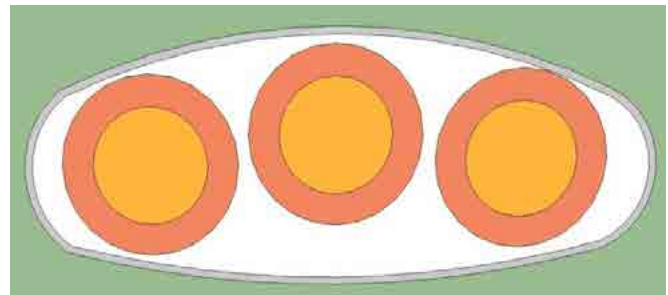
Таким образом, поиск материала для изготовления бронелент, обладающего достаточно высокой коррозионной стойкостью, приемлемой стоимостью и обладающего хорошими технологическими свойствами, представляется также весьма актуальной задачей.

Заключение

Приведенные в статье конструкции не охватывают полный спектр кабелей, эксплуатирующихся в настоящее



Чрезмерное усилие натяжения стальных лент



Недостаточное усилие натяжения стальных лент

Рис. 4. Возможное расположение изолированных токопроводящих жил в кабеле при наложении бронеленты

время на промыслах нефтедобычи, так как в ряде случаев существуют модификации, разработанные и изготавливаемые либо по прямым договорам, либо изготовленные на предприятиях нефтедобывающей промышленности по собственной документации.

Существуют разночтения в определении рабочей температуры кабелей (температура скважинной жидкости или температура на жиле). Не всегда корректно коррелируются эксплуатационные факторы и характеристики материалов, в первую очередь – материала изоляции кабеля.

По-видимому, настало время нефтедобывающим компаниям совместно с разработчиками и производителями кабелей разработать новый ГОСТ и комплект технической документации, охватывающей жизненный цикл кабельной линии от конструкции и технологии производства до эксплуатации.

