

## Результаты опытно-промышленных испытаний погружных кабельных линий из термостойкого алюминия ТАС в ООО «Газпромнефть-Хантос»

**А.А. Шушаков,**  
**А.Ф. Галеев**  
(ПАО «Газпром нефть»),  
**Н.М. Катрич,**  
**Н.П. Сарapulов**  
(ООО «Газпромнефть НТЦ»),  
**А.Г. Сулейманов,**  
**И.А. Сашин**  
(ООО «Газпромнефть-Хантос»)

Адрес для связи: Sarapulov.NP@gazpromneft-ntc.ru

**Ключевые слова:** нефтепогружной электрокабель, термостойкий алюминий ТАС, алюминий, сплав, ТАС

The results of field testing of submersible cable lines of heat-resistant and corrosion-resistant aluminum alloy TAS in Gazpromneft-Khantos LLC

A.A. Shushakov, A.F. Galeev  
(Gazprom Neft PJSC, RF, Saint-Petersburg),  
N.M. Katrych, N.P. Sarapulov  
(Gazpromneft NTC LLC, RF, Saint-Petersburg),  
A.G. Suleymanov, I.A. Sashin  
(Gazpromneft-Khantos LLC, RF, Khanty-Mansiysk)

E-mail: Sarapulov.NP@gazpromneft-ntc.ru

**Key words:** ESP cable, thermal-corrosion-resistant aluminum alloy

Approximately one-third of the submersible equipment cost takes submersible cable with copper core. According to the relatively high electrical resistance, instability of physical and mechanical properties aluminum is not used in the oil production, but more expensive material – copper is used. However, a more affordable aluminum price in couple of the manufacturing processes improvement and new manufacturing techniques of electrical conductors and their workpieces reveals the potential of its application. In 2013 we began field tests of the new cable with cores of thermal-corrosion-resistant aluminum alloy (TAS) manufactured by 'ELCA-cable'. The new cable was installed in ESP of domestic and foreign manufacturers. Tests were successfully finished in 2015. The electric properties of aluminum cable are similar to copper one after doping rare earth metals and the special workpieces development. Despite the fact that the cross-section had to increase to compensate of electrical losses the cost of aluminum cable is approximately 30% lower than costs of conventional cables with copper core.

Более 90 % всей добычи в компании «Газпром нефть» осуществляется механизированным способом с применением установок электроцентробежных насосов (УЭЦН). Одной из главных и в то же время уязвимой составляющей УЭЦН является нефтепогружной кабель на напряжение 3,3 кВ. Стоимость кабельной линии, в зависимости от глубины спуска, составляет около трети стоимости УЭЦН. В практике добычи нефти из-за нестабильности физико-механических свойств алюминия для изготовления жил кабеля применяется более дорогой материал – медь. При использовании алюминия потенциально можно значительно сократить операционные затраты на добычу углеводородов.

Компания «ЭЛКА-Кабель» в 2013 г. анонсировала новую линейку кабельной продукции, особенностью которой стало применение запатентованного термостойкого алюминия ТАС (патент на полезную модель №118789) для изготовления жил. Сплав ТАС представляет собой термостойкий алюминий, модифицированный редкими или редкоземельными металлами: цирконием, скандием, иттрием, церием, лантаном, ванадием, гафнием или их смесями.

Электрическая проводимость алюминия в 1,6 раза меньше, чем меди, при этом стоимость алюминия приблизительно в 4 раза ниже, а за счет меньшей плотности (в 3,3 раза) для получения равного сопротивления по массе его нужно приблизительно в 2 раза меньше.

Применение предложенной продукции возможно только при условии сохранения надежности и характе-

ристик жилы, аналогичных медному материалу по целому спектру механических и физических свойств, таких как прочность, пластичность, коррозионная стойкость, электро- и теплопроводность, термостойкость, коэффициент температурного расширения и др.

Нефтепогружной кабель с изоляцией из блоксополимера пропилена с этиленом изготавливается по ТУ 3542-036-109958 63-2012. По данным производителей, кабель с жилами из ТАС не уступает по свойствам кабелю с медной жилой за исключением удельной электрической проводимости материала жил, которую удалось компенсировать переходом на следующий типоразмер жилы – с 16 на 25 мм<sup>2</sup>. В зависимости от мощности двигателя в «Газпром нефти», как правило, используются кабели двух сечений – 16 и 25 мм<sup>2</sup>, причем доля первого в целом по компании составляет около 80 %, 12 % из них – с оцинкованной термовставкой с медными жилами.



Кабель с алюминиевыми жилами

Номер скважины	Сервисная компания ЭЛУС	Тип насоса	Глубина спуска, м	Размер термовставки, м	Режим	$q_{ж}$ , м <sup>3</sup> /сут	$q_{н}$ , т/сут	$P_{пр}$	$T_{пр}$	Состояние	Наработка, сут	Отбраковка кабеля, %
1	«Борец»	ЭЦНД-30-2400	2544	520	ПДФ	45	6,7	27	100	В работе	673	–
2	«Новомет»	ВНН-59-2350	2420	700	22/38	18	14	49	95	В работе	677	–
3	«Новомет»	ВНН-44-2400	2670	700	10/50	6	3	36	92	В работе	627	–
4	«Бейкер Хьюз»	FC-925-2400 (125)	3397	0	33/27	47	39,7	43	97	В работе	579	
5	«Бейкер Хьюз»	FC-650-2300 (80)	2626	0	23/37	32	24	21	96 (до 120)	R-0	493	69
6	«Бейкер Хьюз»	FC-925-2400 (125)	2350	0	16/44	20	17	32	102 (до 119)	R-0	245	Дефектовка не проводилась
7	«Борец»	ЭЦНД-35-2282	2420	405	ПДФ	41	24	33	99	R-0	157	100
8	«Борец»	ЭЦНД-100-2150	3059	650	17/43	20	17	38	97	R-0	122	29
9	«Новомет»	ВНН5-59-2400	2822	700	10/50	7	6	34	96	ГТМ	268	55
10	«Новомет»	ВНН-59-2450	2629	700	16/44	13	10,6	Не работает	Не работает	ГТМ	354	54
11	«Борец»	ЭЦНД-80-2400	2727	665	10/50	14	12	44	98	ГТМ	134	25
12	«Борец»	ЭЦНД-60-2466	2589	300	11/49	13	10,4	22	103	ГТМ	133	94
Всего											238	60,8

**Примечание.**  $q_{ж}$ ,  $q_{н}$  – дебит соответственно жидкости и нефти;  $P_{пр}$ ,  $T_{пр}$  – соответственно давление и температура на приеме УЭЦН, ГТМ – геолого-технические мероприятия.

С учетом увеличения объема металла для компенсации электропроводности, а также массы изоляции и брони при переходе на следующий типоразмер кабеля стоимость кабеля с жилами ТАС по сравнению с традиционной кабельной продукцией остается на 30 % ниже. Таким образом, при условии внедрения данной продукции на целевом фонде компании потенциально можно сократить затраты на оборудование УЭЦН или услуги по прокату погружного оборудования на 5–7 %.

#### Подготовка к испытаниям

Для подтверждения заявленных свойств кабельной продукции перед опытно-промышленными испытаниями (ОПИ) продукция прошла испытания в Центральной лаборатории ОАО «Росскат» с целью определения соответствия изготовленной продукции требованиям ТУ 3542-028-10995863-2011, а также ГОСТ Р 51777-2001. По заключению лаборатории кабельная продукция соответствует заявленным требованиям.

Потенциально уязвимым участком является сросток алюминиевого кабеля с медным при стыковках с «удлинителем» или «термовставкой». Одна из причин – элек-

трохимическая коррозия при образовании гальванической пары на стыке двух металлов. Кроме того, недостатком алюминия как электротехнического материала является образование на его поверхности прочной диэлектрической оксидной пленки, затрудняющей пайку и за счет ухудшения контактного сопротивления вызывающей повышенное нагревание в местах электрических соединений, что в свою очередь снижает надежность электрического контакта и изоляции.

Для устранения указанных недостатков и определения оптимальных вариантов сростки медной жилы сечением 16 мм с жилой из ТАС в лаборатории ООО НПФ «Битек» был проведен ряд испытаний. В эксперименте участвовали медные гильзы БТ.0008-01, БТ.0009-01 из промышленного алюминия, алюмомедная гильза ГАМ, изготовленные по ТУ 3449-017-59861269-2004. По результатам испытаний совместно с компанией «ЭЛКА-кабель» были разработаны медные луженые гильзы собственной конструкции, а также технологическая инструкция для изготовления сростков кабеля.

#### Опытно-промышленные испытания

В конце 2013 г. начаты полномасштабные испытания кабеля ТАС в ООО «Газпромнефть-Хантос» в объеме 27 км. ОПИ проводились совместно с сервисными компаниями «СК Борец», «Новомет-Сервис», «Бейкер Хьюз Б.В.». Срок их проведения – не менее 1 года безотказной эксплуатации.

В качестве граничных условий эксплуатации подконтрольного оборудования были определены следующие критерии оценки эффективности ОПИ:

- соответствие оборудования заявленным характеристикам;
- отсутствие отказов в течение срока ОПИ, связанных с браком или конструкционными недоработками;
- ремонтпригодность кабеля.



Сростки жил



Различные гильзы для соединения кабельных жил

Для испытаний на Приобском месторождении подбирались скважины-кандидаты из малодебитного фонда, где эксплуатируется оборудование с низким к.п.д.; с глубиной более 2500 м; с осложненным и нестабильным притоком флюида к забюю и высокой пластовой температурой.

#### Итоги опытно-промысловых испытаний

Компоновки, в составе которых эксплуатировался кабель ТАС, были спущены в 11 скважин (в одну из них – повторно после отбраковки и ремонта). На 14.10.15 г. в работе находились четыре установки с максимальной наработкой 677 сут и средней наработкой 639 сут. Из семи остановленных установок три остановлены для проведения геолого-технических мероприятий, а четыре отказали по причине R-0 (сопротивление изоляции равно 0) (см. таблицу).

В связи с тем, что в компании принят целевой ориентир показателя надежности 730 сут, анализировались все отказы и остановки, которые происходили после установленного в программе ОПИ срока.

Рассмотрим отказы подробнее для определения основных причин, приведших к выходу УЭЦН из строя.

**Скв. 5 (R-0).** Нарботка на отказ – 493 сут. Причиной отказа стал прогар сростка кабеля между удлинителем и кабелем ТАС. Данная компоновка спускалась без термо-вставки, оцинкованного кабеля, рассчитанного на температуру 230 °С. В процессе эксплуатации на термодатчике погружного электродвигателя (ПЭД) была зафиксирована максимальная температура 120 °С. С учетом того, что сам ЭЦН является узлом с самым низким к.п.д. и в нем происходит дополнительный нагрев, кабель ТАС, включая сросток с удлинителем, мог нагреться до сверхдопустимых температур. Субъективно главной причиной отказа можно считать перегрев установки либо брак монтажа сростка.

**Скв. 6 (R-0).** Нарботка на отказ – 245 сут. Подконтрольная установка отработала менее установленного в программе ОПИ срока. Как и предыдущая, она спуска-

лась без термо-вставки. Причиной отказа стал прогар сростка кабеля между удлинителем и кабелем ТАС. В процессе эксплуатации на термодатчике ПЭД была зафиксирована максимальная температура 120 °С. Субъективно главной причиной отказа можно считать перегрев установки либо брак монтажа сростка.

**Скв. 7 (R-0).** Нарботка на отказ – 157 сут. Причиной отказа стал прогар сростка кабеля между термо-вставкой и кабелем ТАС. При комиссионном демонтаже выявлены следы перегрева погружного электродвигателя и плавление свинцовой оболочки удлинителя, что в свою очередь косвенно свидетельствует о нагреве кабельной линии ТАС сверх нормативных температур. Субъективно главной причиной отказа можно считать перегрев установки либо брак монтажа сростка.

**Скв. 8 (R-0).** Нарботка на отказ – 122 сут. Причиной отказа стало снижение изоляции ПЭД до нуля. Причины отказа подконтрольного кабеля не выявлены.

После демонтажа и отбраковки кабельных линий из скв. 8 и 11 остатки ТАС повторно были спущены в скв. 12, в которой установка отработала 133 сут и была извлечена по причине проведения ГТМ.

По итогам испытаний средняя отбраковка составила около 61 % (без учета повторного спуска кабеля – 55 %), что несколько больше среднего значения для традиционно применяемого оборудования. Следует отметить, что скважины-кандидаты подбирались на осложненном фонде. Также по результатам расследования по ряду скважин были выявлены факты значительного перегрева оборудования: выплавление всех термоиндикаторов ПЭД до температуры 180 °С, плавление свинцовой оболочки удлинителя, следы перегрева деталей двигателя.

Таким образом, можно сделать однозначный вывод о перспективности использования данной технологии в нефтедобывающей отрасли. По итогам ОПИ технология была признана успешной, однако решение о ее полномасштабном внедрении в компании в настоящее время не принято из-за ряда вышеописанных недостатков, что требует дальнейших доработок технологии. На научно-техническом совете Блока разведки и добычи ПАО «Газпром нефть» с учетом потенциального эффекта от внедрения данной технологии рекомендовано:

- продолжить подконтрольную эксплуатацию кабеля;
- расширить испытания в объеме не менее первоначальной партии;
- пересмотреть технологию сростка кабеля ТАС с медной жилой;
- включить плавкие термоиндикаторы в состав строительной длины для определения граничных условий применения кабеля с жилами из ТАС.