

# Внедрение ЭЦН износо-, коррозионно-стойкого исполнения с рабочими органами из чугуна "Ni-rezist тип 4"

Авторы: Д.Б.Елисеев (руководитель Группы стандартов, аудита и анализа, "ТНК-ВР Менеджмент", "Отдел механизированной добычи"),  
А.В. Афанасьев (начальник Аналитического Отдела ОАО "Варьеганнефтегаз")

Рассмотрены результаты внедрения ЭЦН износо-коррозионно-стойкого исполнения с рабочими органами из чугуна "Ni-rezist тип 4" на скважинах "ТНК-ВР Холдинг" с осложненными условиями эксплуатации. Представлен краткий отчет о совместной работе ТНК-ВР с производителями оборудования по созданию нового материала рабочих органов насоса, приведены характеристика суперосложненных условий эксплуатации на пластах АВ, ПК Покурской свиты ОАО "Варьеганнефтегаз", результаты ОПИ УЭЦН с рабочими органами насоса из чугуна "Ni-rezist тип 4", а также сравнительный анализ наработки серийного и экспериментального оборудования в осложненных условиях эксплуатации и экономический эффект проекта.

Традиционно, начиная с 50-х гг. прошлого столетия, отечественные установки электроцентробежных насосов для добычи нефти (УЭЦН) производились в двух исполнениях: обычное и коррозионно-стойкое. УЭЦН обычного исполнения предназначались для эксплуатации в скважинах без осложняющих факторов, рабочие ступени секции ЭЦН изготавливались из серого чугуна, модифицированного церием и бором, по техническим условиям ОКБ БН ТУ 26–4111–001. Установки в коррозионно-стойком исполнении предназначались для использования в скважинах с высокой коррозионной агрессивностью пластовой жидкости, материал рабочих органов ЭЦН–чугун, легированный хромом (Cr до 1,5 %) и никелем (Ni = 15...17 %) типа "Ni-rezist" по ТУ 26–06–1305–95.

В 2002 г. была разработана и внедрена первая редакция Технических требований ТНК-ВР на компоненты УЭЦН. Данное событие послужило революционным решением в вопросе повышения ресурса и конструктивной надежности погружного оборудования. Специалистами Управления по внутрискважинным работам совместно с ЦДО и производителями ведется непрерывная работа по выработке технических решений, применению новых материалов и технологий, параллельно в Технических требованиях к оборудованию находят отражение результаты научно-исследовательских работ, выполняемых ООО "ИММАШ РЕСУРС", РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина и др.

Действующие Технические требования ТНК-ВР к погружным электроцентробежным насосам, мультифазным насосам и газосепараторам предусматривают классификацию оборудования по семи группам

конструктивного исполнения: 1, 2, 3, 4, 4А, 5, 5А гр., в зависимости от осложняющих факторов, что позволяет производить индивидуальный подбор УЭЦН к каждой скважине и в итоге реализовать экономическое обоснованное решение по применению УЭЦН.

В связи с интенсификацией добычи, выработкой залежей и увеличением числа геолого-технических мероприятий (ГРП, ОПЗ и т. д.) происходит усиление влияния осложняющих факторов, таких, как вынос абразивных компонентов из пласта, повышение коррозионной агрессивности добываемой жидкости. Вышеперечисленные факторы определили эволюцию УЭЦН в направлении усиления конструктивной надежности погружных насосов для добычи нефти.

Совместная работа ТНК-ВР с заводами ООО "Алмаз" и ООО "ПК Борец" по созданию нового материала рабочих органов ЭЦН из высоколегированного чугуна "Ni-rezist тип 4" с содержанием Cr 4...6 % и Ni = 28...32 % явилась очередным шагом по усилению конструкции электроцентробежных насосов.

По итогам технического совещания, в начале 2010 г., была подготовлена программа работ по внедрению высоконадежных УЭЦН, укомплектованных насосами с рабочими органами из чугуна "Ni-rezist тип 4".

После рассмотрения и корректировок Технические условия на отливки рабочих органов ЭЦН завода "Алмаз" ТУ 3631–002–27385465–2010 были согласованы ТНК-ВР.

Технические требования к химическому составу и механическим свойствам высоколегированного чугуна "Ni-rezist тип 4" завода "Алмаз" приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав чугуна по ТУ 3631–002–27385465–2010 (%)

| Углерод                                                         | Кремний   | Марганец   | Хром      | Никель  | Медь      | Фосфор, не более | Сера, не более |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|------------|-----------|---------|-----------|------------------|----------------|
| Чугун аустенитный модифицированный ЧН16Д7ХШ                     |           |            |           |         |           |                  |                |
| 2,2...3,1                                                       | 1,5...3,0 | 0,5...1,6  | 1,3...2,6 | 14...17 | 5...8     | 0,25             | 0,03           |
| Чугун аустенитный модифицированный ЧН30Д5ГХ5Ш "Ni-rezist тип 4" |           |            |           |         |           |                  |                |
| 2,2...3,0                                                       | 1,5...3,0 | 0,4... 1,0 | 4,0...6,0 | 28...32 | 4,0...6,0 | 0,25             | 0,05           |

Механические свойства:

Твердость по Бринеллю "Ni-rezist тип 1" 120...180 НВ.

Твердость по Бринеллю "Ni-rezist тип 4" 145...205 НВ.

Данные по химическому составу высоколегированного чугуна "Ni-rezist" зарубежного производства, изготавливаемого по ASTM A 436-84(2001), приведены в табл. 2.

Необходимо отметить, что материал "Ni-rezist тип 4", предлагаемый заводом "Алмаз", по сравнению с зарубежным аналогом имеет более высокое содержание меди – 4...6 %. Содержание серы, которая негативно влияет на свойства отливок, значительно ниже.

Для проведения опытно-промышленных испытаний (ОПИ) подконтрольных УЭЦН с рабочими органами из материала "Ni-rezist тип 4" определили месторождения ЦДО "Варьеганнефтегаз".

Применение зарубежных установок на осложненных скважинах ЦДО "ВНГ" значительно увеличивало срок безотказной работы, но высокая стоимость оборудования и ремонта, а также высокий процент списания дорогостоящих зарубежных УЭЦН оказывали значительное влияние на рост капитальных и операционных затрат на механизированную добычу.

Для решения вышеуказанных проблем были намечены следующие решения:

- внедрение защитных устройств, предотвращающих засорение и износ ЭЦН;
- проведение ОПИ и внедрение оборудования

УЭЦН с рабочими органами насоса из чугуна "Ni-rezist тип 4" отечественного производства.

Слабосцементированные коллекторы, приводящие к большому выносу породы и абразивных частиц, сложные коррозионные условия в сочетании с высокой вязкостью нефти и сильным газовым фактором делают аномально сложной эксплуатацию погружного оборудования на пластах ПК, АВ Покурской свиты ОАО "Варьеганнефтегаз". Это в свою очередь приводит к преждевременным отказам и выходу из строя подземного оборудования.

Вынос абразивных частиц из пласта влечет за собой ускоренный абразивный износ рабочих органов насоса. Средняя наработка серийных установок составляла 60 сут, погружное оборудование после отказа не подлежало ремонту и списывалось. Наблюдалось значительное количество некатегорийных аварий ("полетов" УЭЦН).

В табл. 3 приведены данные (средние) минералогического состава выносимых частиц и индекс агрессивности (А<sub>ж</sub>) (Якимов С.Б. Индекс агрессивности выносимых частиц на месторождениях ТНК-ВР в Западной Сибири // Нефтепромысловое дело. 2008. № 9. С. 33–38).

Касаясь условий эксплуатации оборудования, следует отметить, что средняя концентрация взвешенных частиц (КВЧ) с высоким индексом агрессивности составляла 300...400 мг/л.

В процессе вывода скважины на режим и увеличения частоты вращения фиксировались выбросы, которые по результатам анализа проб составляли до

Таблица 2

Химический состав чугуна "Ni-rezist"

| Химический состав        | Чугун "Ni-rezist" |               |               |               |               |               |               |               |
|--------------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                          | Тип 1             | Тип 1b        | Тип 2         | Тип 2b        | Тип 3         | Тип 4         | Тип 5         | Тип 6         |
| Углерод, всего, максимум | 3,00              | 3,00          | 3,00          | 3,00          | 2,60          | 2,60          | 2,40          | 3,00          |
| Кремний                  | 1,00...2,80       | 1,00...2,80   | 1,00...2,80   | 1,00...2,80   | 1,00...2,00   | 5,00...6,00   | 1,00...2,00   | 1,50...2,50   |
| Никель                   | 13,50...17,50     | 13,50...17,50 | 18,00...22,00 | 28,00...32,00 | 29,00...32,00 | 29,00...32,00 | 34,00...36,00 | 18,00...22,00 |
| Медь                     | 5,50...7,50       | 5,50...7,50   | 0,50 макс.    | 0,50 макс.    | 0,50 макс.    | 0,50 макс.    | 0,50 макс.    | 3,50...5,50   |
| Хром                     | 1,5...2,5         | 2,50...3,50   | 1,5...2,5     | 3,00...6,00   | 2,50...3,50   | 4,50...5,50   | 0,10 макс.    | 1,00...2,00   |
| Сера, максимум           | 0,12              | 0,12          | 0,12          | 0,12          | 0,12          | 0,12          | 0,12          | 0,12          |
| Молибден, максимум       | ...               | ...           | ...           | ...           | ...           | ...           | ...           | 1,00          |

Таблица 3

Минералогический состав частиц

| Группа пластов | Содержание минералов в пробе, % |             |               |                         |                    |                   |           |       |       |         |                           | А <sub>ж</sub> |
|----------------|---------------------------------|-------------|---------------|-------------------------|--------------------|-------------------|-----------|-------|-------|---------|---------------------------|----------------|
|                | Кварц                           | Плаггиоклаз | Обломки пород | Итого абразивных частиц | Гидроокислы железа | Угlistое вещество | Калишпаты | Слюда | Глина | Кальцит | Итого неабразивных частиц |                |
| АВ             | 60,1                            | 11,7        | 3,0           | 74,8                    | 10,0               | 3,5               | 1,1       | 0,1   | 1,6   | 8,9     | 25,2                      | 77             |
| ПК             | 61,4                            | 18,5        | 2,5           | 82,4                    | 15,0               | 1,0               | 1,6       | 0,0   | 0,0   | 0,0     | 17,6                      | 86             |

1100 мг/л. То есть условия эксплуатации можно смело отнести к суперсложным.

В качестве наглядного примера можно привести результаты исследований на одном из пескопроявляющих объектов разработки Ван-Еганского месторождения.

Датчик ClamPon был установлен 19.01.2010 г. на скв. 400, куст 10.

#### Режим по скважине

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| $Q_{ж}$ , м³/сут..... | 590 |
| $Q_{п}$ , т/сут.....  | 27  |
| % воды.....           | 95  |

Пласт АВ1-2 ("Рябчик"), содержание механических примесей 300 мг/л. В процессе записи параметров была произведена смена работы ЭЦН DN-4300 (материал ступеней "Ni-rezist тип 4") с частоты 55 до 50 Гц и затем с 50 до 55 Гц. Как видно на рис. 1, в процессе работы скважины периодически происходит залповый вынос механических примесей, что при работе стандартной установки, выполненной из "Ni-rezist тип 1", повлекло бы преждевременный выход из строя оборудования.

Наработка зарубежной УЭЦН с рабочими органами из чугуна "Ni-rezist тип 4" в данной скважине составила более 700 сут, наработка серийных отечественных установок – порядка 55 сут.

Компании Schlumberger, Beker Huges и другие зарубежные поставщики электроцентробежных установок предлагают для работы в таких условиях оборудование в износостойком исполнении компрессионной и пакетной сборки насосов с рабочими органами из высоколегированного чугуна "Ni-rezist тип 4".

Объектом опытно-промышленных испытаний был определен ЭЦН5А-800-1400 производства ООО "Алмаз" в коррозионно-стойком исполнении с повышенной абразивной устойчивостью для использования в скважинах с высокой коррозионной агрессивностью пластовой жидкости и высоким содержанием абразивных компонентов. К конструктивным особенностям насоса относятся пакетная сборка и исполнение рабочих органов (направляющие аппараты, рабочие колеса) из материала "Ni-rezist тип 4". В секциях используются промежуточные подшипники в каждой третьей ступени. Расстояние между промежуточными подшипниками 0,2 м. Установка была скомплектована с ПЭД 250-117 4 гр. исполнения, для дополнительной защиты УЭЦН от агрессивного воздействия среды двигатель был оснащен протектором коррозии из алюминий-магниевого сплава.

Промысловые испытания начались 02.08.2010 г. с момента монтажа ЭЦН5А-800-1400 на скв. 1722, куст 42 Ван-Еганского месторождения. Данная скважина эксплуатируется на пласте ПК 14, который характеризуется интенсивным выносом механических примесей, представленных кварцевым песком преимущественно мелкой фракции. Кроме того, попутно добываемая жидкость из скважины является коррозионно-активной. Средняя наработка на отказ серийных отечественных УЭЦН 3гр. на скважине составляла 80 сут. Установка FC 4400 производства Centrilift отработала 118 сут. Отказ произошел по причине снижения сопротивления изоляции удлинителя, вследствие вибрации, возникшей в результате износа рабочих органов насоса.

Все вышеперечисленные факторы определили скв. 1722 в качестве кандидата для проведения ОПИ ЭЦН5А-800-1400 производства ООО "Алмаз" (табл. 4).

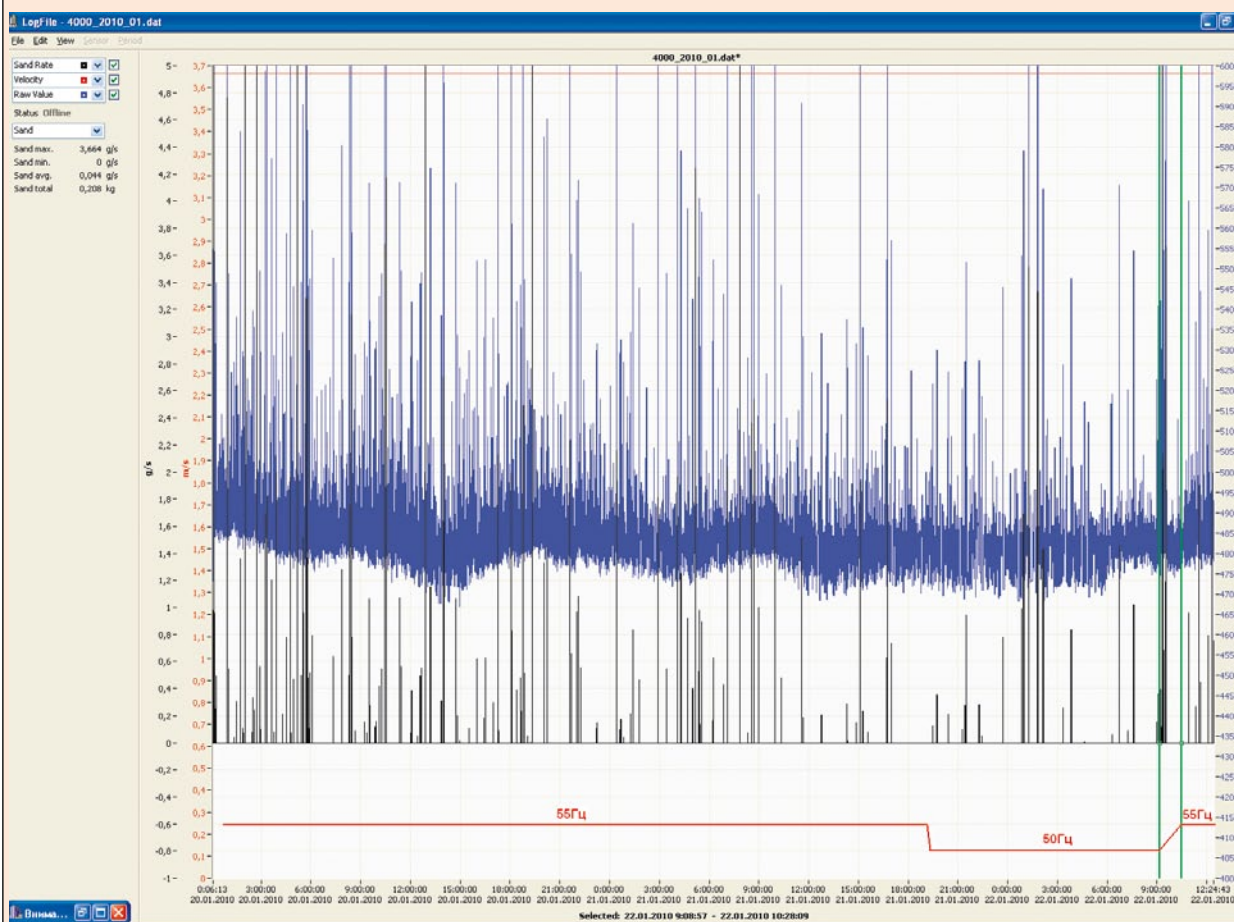
Таблица 4

История работы скв. 1722

| Шифр ЭЦН            | Тип ПЭД  | Дата        |             | МРП | Причина           | Результат дефектации насоса                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------|----------|-------------|-------------|-----|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                     |          | запуска     | отказа      |     |                   |                                                                                                                                                                                                                                                |
| 5А-500-1200         | 160-117  | 16.05.09 г. | 18.09.09 г. | 125 | Отсутствие подачи | Радиальный износ вала по всей длине. Износ опорных шайб. Радиальный износ ступиц рабочих колес и центральных отверстий направляющих аппаратов. Износ опорного бурта                                                                            |
| 5А-500-1200         | 160-117  | 24.09.09 г. | 20.10.09 г. | 26  | Отсутствие подачи | Радиальный износ вала. Износ нижних шайб, износ посадочного места рабочих колес до металла, износ нижнего бурта. Радиальный износ ступиц рабочих колес и центральных отверстий направляющих аппаратов. 100 % рабочих органов списано по износу |
| 5А-500-1200         | 160-117  | 26.10.09 г. | 08.12.09 г. | 46  | Снижение изоляции | Радиальный износ вала. Износ опорных шайб. Радиальный износ ступиц рабочих колес и центральных отверстий направляющих аппаратов. 100 % рабочих органов списано по износу                                                                       |
| FC4400<br>(174 ст.) | 180 л.с. | 13.12.09 г. | 10.04.10 г. | 118 | Снижение изоляции | Клин верхней секции. Радиальный износ втулок, износ центральных отверстий направляющих аппаратов – списание. 100%-й износ нижних шайб. Промыв лопаток рабочих колес и направляющих аппаратов                                                   |
| 5А-500-1200         | 140-117  | 18.04.10 г. | 28.07.10 г. | 101 | ГТМ               | Износ нижних шайб, износ посадочного места рабочих колес до металла, износ нижнего бурта. Износ и промыв проточной части рабочих органов до разрушения. 100 % рабочих органов списано                                                          |



а



б

Рис. 1. Показания датчика Slamtron (а) на скв. 400, куст 10 (б) Ван-Еганского месторождения



Экспериментальная установка УЭЦН5А-800-1400 производства ООО "Алмаз" была запущена в работу 02.08.2010 г., отказ произошел по причине  $R=0$  (сквозная коррозия корпуса ПЭД), с наработкой 98 сут.

### Эксплуатация

- Установка работала в установившемся режиме.
- Дебит был максимально приближен к рекомендуемому заводом-изготовителем.
- Аварийных остановок в процессе эксплуатации не было.

При первом этапе расследования на устье было выявлено следующее:

- вращение вала секций ЭЦН в норме – 0,2...0,4 кгс/м;
- приемная сетка чистая;
- сопротивление изоляции кабеля 100 МОм;
- сопротивление изоляции ПЭД – 0 МОм;
- двигатель негерметичен;
- масло светлое с водой;
- **сквозная коррозия корпуса ПЭД.**

При дефектации на Сервисном предприятии комплекующие подконтрольного ЭЦН, в том числе рабочие органы, прошли тщательный визуальный и инструментальный контроль.

По результатам дефектации рабочих органов насоса ЭЦН5А-800-1400 из чугуна "Ni-rezist тип 4" зафиксированы следы износа центрального отверстия направляющего аппарата и наружного диаметра ступиц рабочих колес (в пределах допуска ремонтных размеров) (рис. 2), проточные части без разрушений и промывов.

ЭЦН признан ремонтпригодным, комплектующие направлены на реставрацию.

По результатам эксплуатации подконтрольной установки УЭЦН5А-800-1400 производства ООО "Алмаз" на скв. 1722 были сделаны следующие выводы и приняты решения:

- отказ оборудования произошел вследствие сквозной коррозии корпуса ПЭД;
- ЭЦН показал свою эксплуатационную надежность, был поднят из скважины в работоспособном состоянии, является ремонтпригодным.

После текущего ремонта насоса ЭЦН5А-800-1400 5 гр. со ступенями насоса из "Ni-rezist тип 4" было



Рис. 2. Износ рабочего колеса

принято решение комплектовать подконтрольный ЭЦН электродвигателем 5 гр., продолжить ОПИ на скв. 1722, куст 42 Ван-Еганского месторождения.

На сегодняшний день спущено 5 установок высоконадежного оборудования (импортного и отечественного) на Вань-Еганском месторождении ОАО "ВНГ" (табл. 5).

Сравнивая наработку УЭЦН, укомплектованных насосами с рабочими ступенями из высоколегированного износостойкого чугуна "Ni-rezist тип 4" (см. табл. 5), с наработкой серийных отечественных УЭЦН, эксплуатируемых в тех же скважинах до установки подконтрольного оборудования (см. табл. 5, графу 7), наглядно видно, что в осложненных условиях при эксплуатации на пластах ПК ресурс насосного оборудования из "Ni-rezist тип 4" значительно выше.

На этапах реализации проекта был проведен сравнительный анализ стоимости отечественных установок УЭЦН 3-й группы конструктивного исполнения, отечественных и импортных УЭЦН с рабочими органами из "Ni-rezist тип 4" (рис. 3).

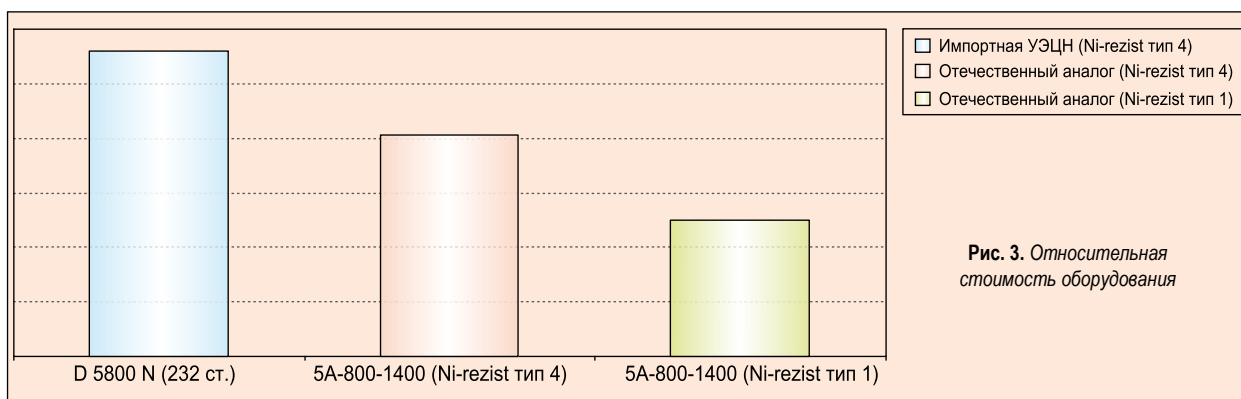
Стоимость экспериментальных отечественных установок с рабочими органами насоса из чугуна "Ni-rezist тип 4" на 30...40 % ниже импортных, но выше стоимости серийных отечественных УЭЦН 3гр. на 35...40 %.

Учитывая рост наработки УЭЦН по скважинам с

Таблица 5

Сравнительные данные наработки УЭЦН

| Пласт | Куст | Номер скважины | Оборудование | Производитель | Наработка до отказа | Текущая наработка |
|-------|------|----------------|--------------|---------------|---------------------|-------------------|
| ПК-14 | 43   | 688            | DN-4300      | "Шлюмберже"   | 38                  | 1370              |
| ПК-14 | 37   | 357            | DN-3500      | "Шлюмберже"   | 57                  | 1386              |
| ПК-14 | 42   | 1727           | 400-1100     | "Алмаз"       | 330                 | 400               |
| ПК-17 | 43   | 9011           | 400-1250     | "Алмаз"       | 200                 | 430               |
| ПК-14 | 36   | 344            | 320-1450     | "Борец"       | 79                  | 644               |



подконтрольным оборудованием и разницу в стоимости установок, фактический экономический эффект от применения высоконадежного насосного оборудования из "Ni-rezist тип 4" взамен серийных УЭЦН 3 гр. по пяти скважинам составил 1,95 млн р.

Индекс окупаемости инвестиций  $PI = 3,47$ .

На сегодняшний день в Компании продолжают работы по повышению конструктивной надежности погружных электроцентробежных насосов, в том чи-

сле испытания новых конструкций и материалов рабочих органов ЭЦН.

В перспективе планируется введение в Технические требования ТНК-ВР к электроцентробежным насосам дополнительной группы ЭЦН по конструктивному исполнению, что позволит более широко применять на осложненном фонде надежные отечественные ЭЦН с рабочими ступенями из высоколегированного чугуна "Ni-rezist тип 4".

---

**"ТНК-ВР Менеджмент", "Отдел механизированной добычи"**

628606 Россия, Тюменская обл., ХМАО–Югра,  
г. Нижневартовск, ул. Ленина, 4.  
Тел.: 8(3466) 61-18-13.  
DBElisees@tnk-dh.com

**ОАО "Варьеганнефтегаз"**

628609 Россия, Тюменская обл., ХМАО–Югра,  
г. Нижневартовск, ул. Ленина, 17П.  
Тел.: 8(3466) 62-30-41, 69-60-37.  
E-mail: AVAfanasiev@tnk-bp.com.

---