

УДК 622.276.53

С.Б. Якимов¹, e-mail: s_yakimov@rosneft.ru; **А.А. Шпортко²**; **А.А. Сабиров³**; **А.В. Булат³**

¹ ПАО «НК «Роснефть» (Москва, Россия).

² ООО «РН-ЦЭПИТР» (Тюмень, Россия).

³ ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (Москва, Россия).

Влияние концентрации абразивных частиц в добываемой жидкости на надежность работы электроцентробежных погружных насосов

Одной из основных причин отказов установок электроцентробежных насосов (УЭЦН) при эксплуатации нефтяных месторождений с терригенными коллекторами является абразивный и эрозионный износ рабочих ступеней и засорение проходных каналов рабочих колес песком. На основании статистических данных по отказам оборудования, эксплуатирующего 6768 скважин месторождений Западной и Восточной Сибири с терригенным коллектором, построена зависимость надежности работы УЭЦН с колесами плавающего типа двухопорной конструкции из материала нирезист тип 1 с промежуточными подшипниками, установленными на валу на расстоянии 0,5 м от концентрации абразивных частиц в добываемой жидкости. Используя полученные зависимости, можно решать многие практические задачи, такие как оценка изменения средней наработки УЭЦН на отказ при увеличении или снижении концентрации абразивных частиц, прогнозирование средней наработки на новых месторождениях, принятие обоснованного решения об оптимальном уровне износоустойчивости оборудования, а также решения о целесообразности использования пескозащитных устройств и т. д.

Ключевые слова: надежность УЭЦН, эксплуатация УЭЦН в осложненных условиях, защита УЭЦН от песка, повышение наработки на отказ УЭЦН.

.....

S.B. Yakimov¹, e-mail: s_yakimov@rosneft.ru; **A.A. Shportko²**; **A.A. Sabirov³**; **A.V. Bulat³**

¹ National Corporation Rosneft PJSC (Moscow, Russia).

² RN-Center of Expert Support and Technical Development LLC (Tyumen, Russia).

³ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (Moscow, Russia).

The Influence of Concentration of Abrasive Particles in the Produced Fluid to the Reliability of Electric Centrifugal Submersible Pumps

One of the main reasons for the failure of electric centrifugal pumps (ESP) installations in the operation of oil deposits with terrigenous catcher is an abrasive and erosive wear of the working steps and clogging the flow channels of impellers sand. Based on the statistical data of the failures of equipment operating 6768 wells in the fields of Western and Eastern Siberia with a terrigenous catcher, the dependence of reliability of ESP operation was constructed with floating-type wheels of a two-bearing structure made of non-resist material of the type 1 with intermediate bearings mounted on the shaft at 0.5 m from the concentration of abrasive particles in the produced liquid. Using the obtained dependences, many practical problems can be solved. For example, such problems, as an estimate of mean time between ESP failures, with increasing or decreasing the concentration of abrasive particles, the prediction of mean time for new deposits, making an informed decision about the optimal level of equipment durability, as well as decisions on the reasonability of using sand-shielding devices, etc.

Keywords: reliability of the ESP system, operation the ESP system in the complicated conditions, ESP protection from the sand, increasing of the mean time between ESP failures.

По мнению большинства исследователей, на сегодняшний день одной из основных проблем при эксплуатации месторождений с терригенными коллекторами являются отказы установок электроцентробежных погружных насосов (УЭЦН), вызванные присутствием песка в добываемой жидкости [1–4]. В то же время как в отечественных, так и в зарубежных источниках полностью отсутствуют сведения о результатах изучения влияния концентрации абразивных частиц (КАЧ) на надежность работы данного оборудования. Авторы многих статей исследовали влияние концентрации взвешенных частиц (КВЧ) в добываемой жидкости на показатели надежности УЭЦН, очевидно, основываясь на том, что дисперсная фаза является по природе своей моодисперсной, т. е. состоит только из частиц кварца. Как было показано в работах [1, 5], это предположение является неверным, и поскольку в добываемой жидкости присутствуют как твердые абразивные частицы, так и мягкие неабразивные, дисперсная фаза является полидисперсной. По этой причине показатель КВЧ является малоинформативным, а результаты исследований, в которых использовался данный критерий, нельзя считать достоверными. Отсутствие исследований по влиянию уровня КАЧ на надежность работы УЭЦН не позволяет прогнозировать такие наиболее важные показатели, как средняя наработка на отказ и гарантированный ресурс работы, делать обоснованный выбор оптимального класса износоустойчивости ЭЦН, а также определять целесообразность использования устройств для защиты ЭЦН от песка и проведения работ по креплению призабойной зоны скважины.

Авторами работы [1] впервые была изучена зависимость средней наработки на отказ наиболее часто используе-

мых ЭЦН с плавающими колесами из материала нирезист тип 1 двухопорной конструкции с промежуточными подшипниками, установленными на валу на расстоянии 0,5 м от КАЧ в добываемой жидкости. Следующей задачей стала оценка влияния КАЧ на такой показатель надежности работы УЭЦН, как вероятность безотказной работы, т. е. вероятность того, что в пределах заданной наработки отказа не возникает. Статистически вероятность безотказной работы $P(t)$ определяется отношением числа исправно работающих УЭЦН к общему числу УЭЦН, находящихся под наблюдением [6]:

$$P(t) = \frac{N(t)}{N} = \frac{N - n(t)}{N}, \quad (1),$$

где N – количество УЭЦН, исправных на момент времени $t = 0$; $N(t)$ – количество УЭЦН, исправных к моменту времени t ; $n(t)$ – количество УЭЦН, отказавших к моменту времени t .

Выполнить данные исследования можно только при условии принятия следующих допущений:

- 1) оценивается надежность только однотипного оборудования разных производителей, не имеющего конструктивных различий и изготовленного по одной технологии;
- 2) для оценки используется статистика отказов оборудования по месторождениям, на которых влияние других осложняющих факторов, таких как коррозия и отложение солей, сравнительно невелико;

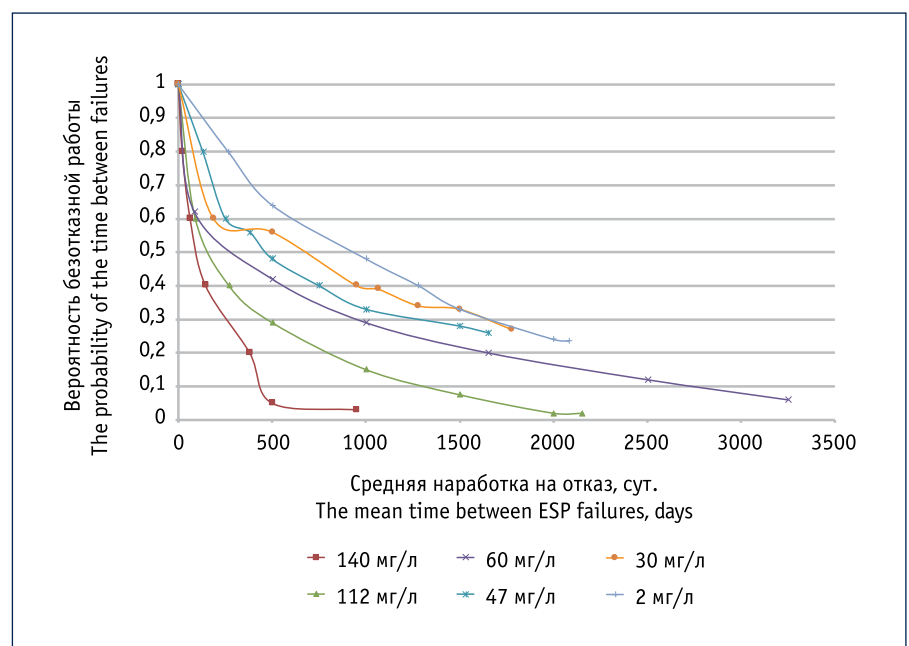


Рис. 1. Графики зависимости общей надежности УЭЦН с плавающими колесами из материала нирезист тип 1 двухопорной конструкции с промежуточными подшипниками, установленными на валу на расстоянии 0,5 м от КАЧ для разного уровня КАЧ

Fig. 1. Graphs of the dependence of the overall reliability of the ESP with floating wheels of non-resist material of the type 1 of a two-bearing structure with intermediate bearings mounted on the shaft at a distance of 0.5 m from the concentration of abrasive particles (CAP) with different values of CAP

Ссылка для цитирования (for citation):

Якимов С.Б., Шпортко А.А., Сабиров А.А., Булат А.В. Влияние концентрации абразивных частиц в добываемой жидкости на надежность работы электроцентробежных погружных насосов // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2017. № 6. С. 50–53.

Yakimov S.B., Shportko A.A., Sabirov A.A., Bulat A.V. The Influence of Concentration of Abrasive Particles in the Produced Fluid to the Reliability of Electric Centrifugal Submersible Pumps. Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory, 2017, No. 6, P. 50–53. (In Russian)

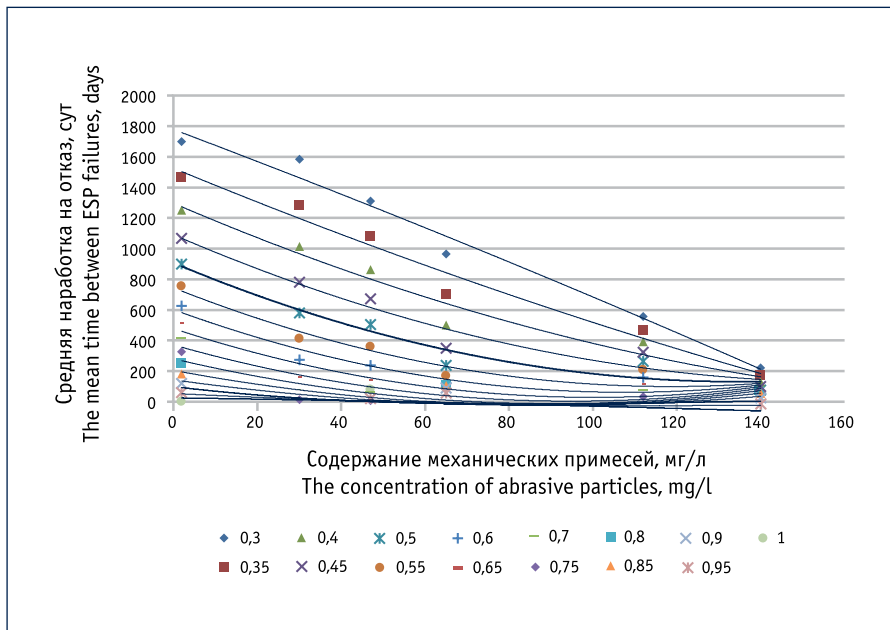


Рис. 2. Графики зависимости средней наработки на отказ от величины КАЧ для различных значений вероятности безотказной работы ЭЦН

Fig. 2. Graphs of the dependence of the mean time between the failure on the CAP value with various values of the probability of trouble-free operation of the ESP

3) оценке подлежит влияние КАЧ на общую надежность работы УЭЦН. Выделить конструкционную и эксплуатационную надежность, как это рекомендуется сделать в [7], по большому числу скважин с наработками, превышающими один год, не представляется возможным.

Основываясь на статистической информации о причинах отказов по 6768 скважинам за 2012–2013 гг. различных месторождений Западной и Восточной Сибири с терригенными коллекторами, представленной в [1], была построена зависимость общей надежности УЭЦН от разного уровня КАЧ (рис. 1). Данная зависимость отражает общую вероятность безотказной работы УЭЦН с колесами плавающего типа двухпорной конструкции из материала нирезист тип 1 с промежуточными подшипниками, установленными на валу на расстоянии 0,5 м от КАЧ, т. е. построена по статистике всех отказов, а не только отказов, вызванных негативным действием абразивных частиц. Методологически данный подход не совсем верен, но в настоящее время оценить количественное влияние КАЧ на вероятность безотказной работы с применением других подходов сложно. На сложность по-

строения данной зависимости указывают и факт полного отсутствия научных исследований, проведенных в предыдущие периоды. Для анализа принимались как случаи отказов функционирования УЭЦН, т. е. отказы оборудования по причине выхода их строя, так и параметрические отказы, т. е. снижение подачи насоса более чем на 20 %.

Поскольку использование графиков зависимости, показанной на рис. 1, не совсем удобно для определения вероятности безотказной работы ЭЦН при различных конкретных значениях показателей КАЧ, эти графики были преобразованы в графики зависимости средней наработки на отказ от величины КАЧ для различных значений вероятности безотказной работы УЭЦН (рис. 2).

Используя зависимость, графически представленную на рис. 2, можно решать многие практические задачи, такие как оценка изменения средней наработки УЭЦН на отказ при увеличении или снижении КАЧ, прогнозирование средней наработки на новых месторождениях, принятие обоснованных решений об оптимальном уровне износоустойчивости оборудования и о целесообразности использования пескозащитных устройств и др.

Результаты проведенных исследований противоречат декларируемым производителями УЭЦН показателям надежности. Хотя гарантийные обязательства завода не являются показателем надежности оборудования, устанавливая лишь отношения между потребителем и производителем [6], гарантийный срок работы УЭЦН рассматриваемой группы исполнения составляет один год при уровне КАЧ 500 мг/л [8]. Используя график на рис. 2, можно определить, что даже при уровне КАЧ 140 мг/л при вероятности безотказной работы 0,5 средняя наработка УЭЦН на отказ составит менее 200 сут, т. е. будет меньше гарантийного периода. Средняя наработка на отказ, соответствующая гарантийному периоду работы, т. е. 365 сут, достигается при уровне КАЧ 60 мг/л. Как было показано в [1, 5], по большому количеству объектов разработки с терригенными коллекторами нефтяных месторождений Западной и Восточной Сибири уровень КАЧ не превышает данного значения, что и делает возможным получить наработку УЭЦН, превышающую гарантийный период. По мнению авторов статьи, противоречия результатов проведенных исследований и существующих представлений о влиянии КАЧ на надежность УЭЦН отчасти объясняются тем, что конструкторы заводов при проектировании показателей надежности могут рассчитать ресурс работы только по параметру «Износ» и прогнозировать случаи возникновения отказов, вызванных засорением рабочих органов песком, не в состоянии. В любом случае проведенные исследования дают основания для пересмотра существующих представлений о влиянии КАЧ на надежность работы УЭЦН.

ВЫВОДЫ:

1. На основании статистических данных по отказам оборудования, эксплуатирующего 6768 скважин месторождений Западной и Восточной Сибири с терригенным коллектором, построена зависимость надежности работы УЭЦН с колесами плавающего типа двухпорной конструкции из материала нирезист тип 1 с промежуточными подшипниками, установленными на валу на расстоянии 0,5 м от КАЧ в добываемой жидкости.

2. Установлено несоответствие существующих представлений о влиянии КАЧ на надежность УЭЦН фактическим показателям.

Литература:

1. Якимов С.Б., Шпортко А.А. О влиянии концентрации абразивных частиц на наработку электроцентробежных насосов с рабочими ступенями из материала нирезист тип 1 на месторождениях ОАО «НК «Роснефть» // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2016. № 3. С. 70–81.
2. Мельниченко В.Е. Подходы к определению причин снижения надежности УЭЦН // Бурение и нефть. 2017. № 2. С. 16–21.
3. Кудрявцев И.А. Совершенствование технологии добычи нефти в условиях интенсивного выноса мехпримесей (на примере Самотлорского месторождения): автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2004.
4. Якимов С.Б. О перспективах использования радиально стабилизированных компрессионных электроцентробежных насосов для повышения эффективности эксплуатации скважин пластов группы АВ Самотлорского месторождения // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2016. № 7–8. С. 78–86.
5. Якимов С.Б. Индекс агрессивности выносимых частиц на месторождениях ТНК-ВР в Западной Сибири // Нефтепромышленное дело: науч.-техн. журн. 2008. № 9. С. 33–38.
6. Бабаев С.Г., Габиров И.А., Меликов Р.Х. Основы теории надежности нефтепромышленного оборудования: Учебник / Под общ. ред. С.Г. Бабаева. Баку: Изд-во АГНА, 2015.
7. Перельман О.М., Пещеренко С.Н., Рабинович А.И., Слепченко С.Д. Методика определения надежности погружного оборудования и опыт ее применения [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.novomet.ru/science_files/452610572005.pdf (дата обращения: 15.06.2017).
8. Ивановский В.Н., Дарищев В.И., Сабиров А.А. Скважинные насосные установки для добычи нефти. М.: Нефть и газ, 2002.

References:

1. Yakimov S.B., Shportko A.A. About the Influence of Concentration of Abrasive Particles Mean Time between Failures of ESP with the Working Steps of Material Non-Resist of the Type 1 at the Deposits of National Corporation Rosneft JSC. Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory, 2016, No. 3, P. 70–81. (In Russian)
2. Melnichenko V.E. Approaches to Determining the Reasons for the Decrease in Reliability of the ESP. Burenie i neft' = Drilling and Oil, 2017, No. 2, P. 16–21. (In Russian)
3. Kudryavtsev I.A. An Improvement of the Technology of Oil Production in the Conditions of Intensive Removal of Mechanical Impurities (on the Example of the Samotlor Deposit). The Author's Abstract. of the Diss. Cand. of Tech. Sciences. Tyumen, 2004. (In Russian)
4. Yakimov S.B. About the Prospects for the Use of a Stable Radial Compression of Centrifugal Pumps to Increase the Efficiency of Wells Operation of the Blanket of the AB Group of the Samotlor Deposit. Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory, 2016, No. 7–8, P. 78–86. (In Russian)
5. Yakimov S.B. The Index of Aggressiveness of the Submitted Particles at the Deposits of TNK-BP in Western Siberia. Neftepromyslovoe delo = Oilfield Business, 2008, No. 9, P. 33–38. (In Russian)
6. Babayev S.G., Gabibov I.A., Melikov R.H. Fundamentals of the Theory of Reliability of Oilfield Equipment. The Textbook ed. by S.G. Babayev. Baku, Publishing house AGNA, 2015. (In Russian)
7. Perelman O.M., Peshcherenko S.N., Rabinovich A.I., Slepchenko S.D. The Method of the Determining the Reliability of Submersible Equipment and Experience of Its Usage. Access mode: http://www.novomet.ru/science_files/452610572005.pdf (Access date: 15.06.2017). (In Russian)
8. Ivanovskiy V.N., Darishchev V.I., Sabirov A.A. Downhole Pumping Units for Oil Production. Moscow, Oil and Gas, 2002. (In Russian)



КРУ серии КМ-35 КОМПЛЕКТНОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

- современная система блокировки для предотвращения ошибочного действия персонала;
- номинальный ток главных цепей до 2000 А;
- габаритные размеры шкафа отходящих линий (ШхВхГ) – 1600x2600x1850 мм.



КСО, КРУ 6(10) кВ до 4000 А

- комплектное распределительное устройство КМП-С до 4000 А;
- комплектное распределительное устройство КМ-1 до 3150 А;
- комплектное распределительное устройство КРУ2-10 до 3150 А;
- камеры сборные одностороннего обслуживания КСО до 1600 А.



КТПБ(М)-110/35/10(6) кВ, КТПБ(М)-35/10(6) кВ КОМПЛЕКТНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ БЛОЧНЫЕ

- Комплексные поставки оборудования:**
- открытые распределительные устройства (ОРУ) 35, 110 кВ;
 - закрытые распределительные устройства (ЗРУ БМ) 35, 6 (10) кВ;
 - общеподстанционные пункты управления (ОПУ).



БМ КТП 10(6)/0,4 кВ Блочно-модульные КТП РУ 10(6) кВ

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

- высокая степень заводской готовности;
- обширный диапазон климатических условий;
- широкий спектр устанавливаемого оборудования;
- гибкий подход к требованиям заказчиков.



КТП 10(6)/0,4 кВ

КОМПЛЕКТНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ

- силовые трансформаторы различных производителей (сухие и масляные);
- ток сборных шин на стороне НН до 5000 А;
- одностороннее и двустороннее обслуживание.



МОДЕРНИЗАЦИЯ ПС ПУСКОНАЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ

- ретрофит КРУ 10 (6) кВ (замена выкатных элементов, релейных шкафов);
- проведение комплекса испытаний;
- сдача объекта эксплуатирующей организации.