

## Л и т е р а т у р а

1. А и з е н ш т е й н Н.Д. Центробежные насосы для нефтяной промышленности. - М.: Изд-во нефтяной и горно-топливной лит-ры, 1957, с. 363.
2. К о с т е н к о М.П., П и о т р о в с к и й Л.М. Электрические машины. - М.-Л.: Энергия, 1964, с. 548.
3. С м и р н о в Ю.В. Некоторые вопросы электрпривода с дросселями насыщения и полупроводниковым выпрямителем. - Изв. ВУЗов. - Энергетикз, вып. 10. 1962, с. 32-38.
4. А б у т а л и е в Ф.А., А х м е д о в И.А., Х у с а н о в М.А., С у л т а н х о д ж а е в М.П. Сравнение энергетических показателей двух методов регулирования производительности центробежного насоса. В сб.: Вопросы проектирования и эффективности работы гидромелиоративных систем Средней Азии. Вып. 8. Ташкент: 1977, с. 125-132.

А.А.Кузьменко, В.Т.Насыров  
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

#### ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПОГРУЖЕННЫХ ЭЛЕКТРОНАСОСОВ НА СКВАЖИНАХ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

При решении многих практических задач возникает необходимость определения показателей надежности. Например, при включении в нормативно-техническую документацию вновь разрабатываемых типоразмеров, разработке предложений по совершенствованию конструкции серийно выпускаемых скважинных насосов, организации ремонтов и т.д.

Для обоснования профилактического обслуживания насосно-силового оборудования необходимо знать вид теоретичес-

кого распределения, которому подчиняется наработка на отказ, поскольку целесообразность проведения профремонтов возникает только при нарастающей интенсивности отказов. Причем для составления методики определения периодичности проведения профилактического обслуживания требуются параметры формы распределения.

Практически все показатели надежности взаимосвязаны между собой функцией распределения наработки на отказ

$$P(t_0 \leq t) = F(t), \quad (1)$$

где  $t_0$  - случайная величина, обозначающая наработку до отказа, а также характер функции интенсивности отказов.

Следует отметить, что существующие данные показателей надежности погружных электронасосов типа ЭЦВ [1] имеют противоречивый характер, поскольку были выявлены различные законы распределения наработки на отказ. Кроме того, не определены параметры формы распределения и диапазон их изменения в зависимости от условий эксплуатации.

В связи с появлением модернизированных электронасосов типа ЭЦВ-"Г" (в консольном исполнении) потребовалось уточнение показателей их надежности при работе в условиях вертикального дренажа. На основании того, что в конструкции насоса исключены наиболее слабые узлы (подшипники в насосной части), а проточная часть выполнена из износостойких материалов (нержавеющая сталь, бронза), сложилось мнение, что показатели его надежности не зависят от условий эксплуатации.

Все насосные установки скважин вертикального дренажа, расположенные на территории Сырдарьинской области, оборудованы в основном электронасосами ЭЦВ10-160-35Г; ЭЦВ10-210-25; 2ЭЦВ12-255-30Г и ЭЦВ12-375-30. Они обслуживаются одним СПМК, осуществляющим все виды ремонтных работ.

Качество перекачиваемой дренажной воды для исследуемого района характеризуется минерализацией от 2 до 20 г/л (по плотному остатку) и содержанием механических примесей

от 0,01 до 1 г/л (средневзвешенное пескование за 90 мин после пуска). По степени минерализации и пескованию все скважины условно можно разбить на 5 групп (табл. I).

Т а б л и ц а I

Характеристика скважин по качеству перекачиваемой воды

| Группа | Степень минерализации         | Плотный остаток г/л, | Степень пескования     | Средневзвешен. пескован., г/л |
|--------|-------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------------|
| I      | Пресные                       | до I                 | Не пескующие           | до 0,01                       |
| II     | Слабо минерализованные        | I-5                  | Слабо пескующие        | 0,01-0,1                      |
| III    | Минерализованные              | 5-10                 | Пескующие              | 0,1-0,5                       |
| IV     | Сильно минерализованные       | 10-20                | Сильно пескующие       | 0,5-1,0                       |
| V      | Особо сильно минерализованные | более 20             | Особо сильно пескующие | более 1,0                     |

При рассмотрении показателей надежности различных устройств [ 2 ] было сделано предположение, что при наличии трущихся и вращающихся элементов из известных видов распределения приемлемы только те, интенсивность отказов которых имеет возрастающий характер. К этим распределениям относятся Вейбуловское, Эрланга, нормальное, логарифмически-нормальное, Релея, "Гамма"-распределение, которые затем проверяются путем аппроксимации экспериментальных данных по наработке до отказа. Проверка их согласованности осуществляется графическим методом с использованием вероятностной сетки, по критерию согласия Колмогорова. По этому критерию, теоретическое распределение не противоречит экспериментальным данным, если

$$D\sqrt{N} \leq 1, \quad (2)$$

где  $D$  - максимальное значение модуля отклонения теоретической функции от экспериментальной;

$N$  - объем выборки наработок до отказа.

Объем необходимой статистической выборки для каждого из исследуемых случаев в соответствии с ГОСТом 17510-72 принимается, исходя их значений доверительной вероятности 0,8 и достоверного интервала 0,15. Получить точность оценки не хуже заданной можно при объеме выборки не менее чем 45 наработок.

Вероятностная сетка для различных теоретических распределений строится на основании ГОСТа 11.008-75, на которую наносится экспериментальная функция распределения наработок до отказа (рис. 1).

Проверка согласованности теоретического распределения с экспериментальными данными показала, что они соответствуют Вейбуловскому двухпараметрическому закону, функция распределения которого имеет вид

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^B};$$

интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \frac{B}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{B-1};$$

наработка на отказ

$$t_0 = \alpha \Gamma\left(\frac{1}{B} + 1\right),$$

где  $\alpha$  — масштаб;

$B$  — угловой коэффициент;

$\Gamma$  — "Гамма"-функция.

Результаты исследований (табл. 2) показали, что во всех случаях выполняется условие (2). Характерно, что при ухудшении качества перекачиваемой воды увеличивается угловой коэффициент " $B$ " и снижается масштаб " $\alpha$ ". Следовательно, при определенных соотношениях затрат проведение профилактических ремонтов может быть целесообразным.

На примере наиболее распространенного типоразмера 2ЭЦВ12-255-30Г была установлена зависимость показателей надежности и параметров формы, закона распределения наработки на отказ от условий эксплуатации. При определении влияния степени минерализации на показатели надежности анализируются статистические данные по наработке электронасосов для группы скважин со средневзвешенным песковани-

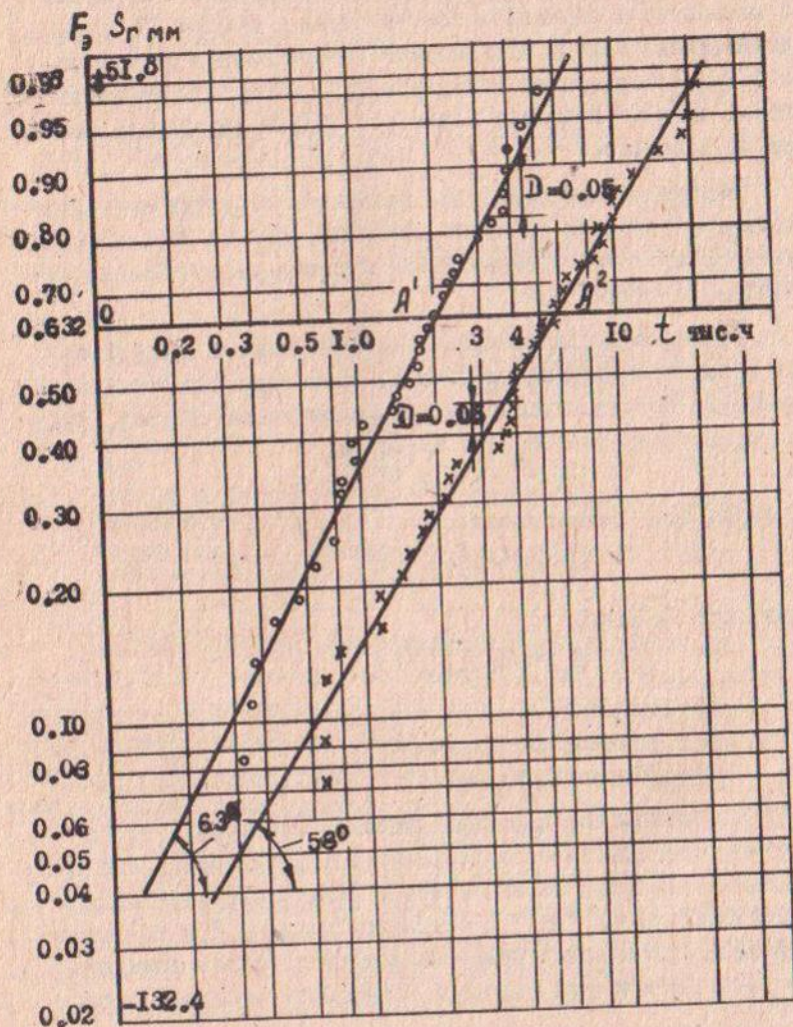


Рис. 1. Графики экспериментальных функций распределения наработки на отказ электронасоса ЭЦВ10-160-35Г: 1 - минерализация 4-8 г/л, пескование 0,1-0,3; 2 - минерализация 2-4 г/л, пескование до 0,01 г/л.

Т а б л и ц а 2

Показатели надежности и параметры формы закона распределения наработки на отказ электронасосов на скважинах вертикального дренажа в Сырдарьинской области

| Типоразмер электронасоса | Условия эксплуата-<br>ции  |                         | $D/\sqrt{N}$ | $B$ | $\alpha$ ,<br>тыс. | Сред-<br>няя на-<br>работка<br>на от-<br>каз,<br>тыс.ч. |
|--------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------|-----|--------------------|---------------------------------------------------------|
|                          | минера-<br>лизация,<br>г/л | пескова-<br>ние,<br>г/л |              |     |                    |                                                         |
| ЭЦВ10-160-35Г            | 2 ÷ 4                      | до 0,01                 | 0,33         | 1,1 | 5,9                | 5,8                                                     |
| "-                       | 4 ÷ 8                      | 0,1 ÷ 0,3               | 0,36         | 1,6 | 2,1                | 1,9                                                     |
| ЭЦВ10-210-25             | 2 ÷ 4                      | до 0,01                 | 0,38         | 1,2 | 4,2                | 3,9                                                     |
| "-                       | 4 ÷ 6                      | 0,1 ÷ 0,3               | 0,31         | 1,3 | 5,3                | 4,9                                                     |
| ЭЦВ12-375-30             | 2 ÷ 4                      | 0,01 ÷ 0,1              | 0,25         | 1,2 | 4,6                | 4,3                                                     |
| "-                       | 2 ÷ 4                      | 0,1 ÷ 0,3               | 0,19         | 1,5 | 4,7                | 4,2                                                     |
| 2ЭЦВ12-255-30Г           | до 2                       | 0,1 ÷ 0,3               | 0,43         | 1,1 | 3,6                | 3,5                                                     |
| "-                       | 2 ÷ 4                      | до 0,01                 | 0,36         | 1,3 | 6,4                | 5,9                                                     |

ем 0,1-0,5 г/л, а при определении влияния пескования - для групп скважин с минерализацией 1-5 г/л, т.е. для наиболее характерных групп скважин.

Результаты исследований показали, что при увеличении минерализации с 2 до 15 г/л наработка на отказ изменяется в пределах 0,8 - 1,2 к средней наработке на отказ для данной группы скважин по пескованию. Что касается показателя " $B$ ", то он с небольшим разбросом остается постоянным 1,1... 1,3.

Таким образом, степень минерализации откачиваемой дренажной воды практически не влияет на показатели надежности. Однако для более точной оценки наработки степень минерализации может быть учтена путем введения корреляционного коэффициента.

Основным фактором, определяющим надежность погружных электронасосов, является пескование скважин. Зависимость показателей надежности от величины средневзвешенного пескования представлена на рис.2.

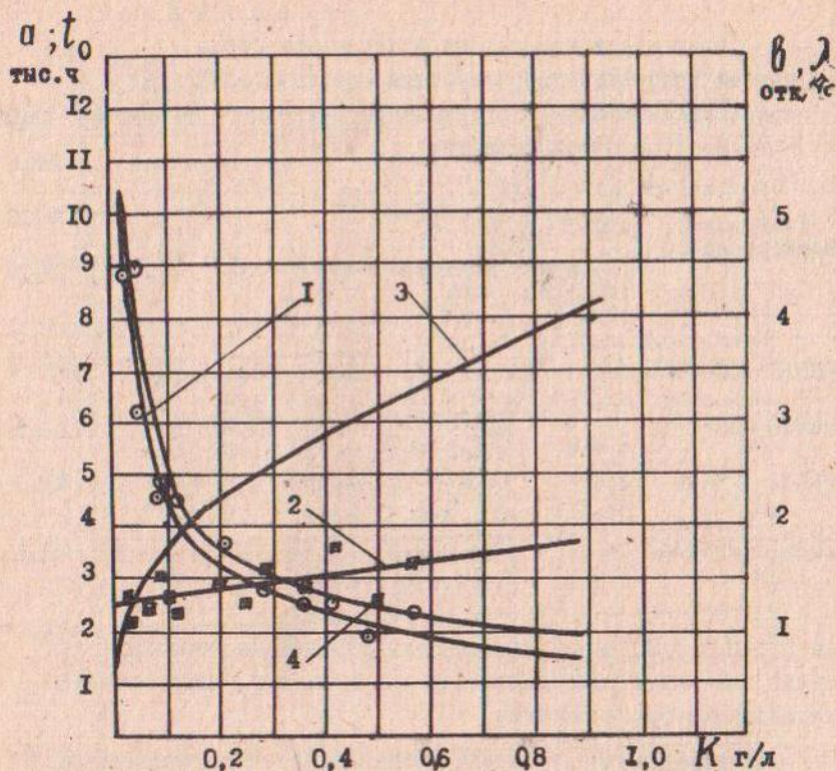


Рис.2. Зависимость показателей надежности и параметров закона распределения наработки на отказ электронасоса 29В12-255-30Г от пескования (минерализация 2-5 г/л):

- 1  $a = P(K)$  масштаб распределения;
- 2  $b = P(K)$  угловой коэффициент распределения;
- 3  $\lambda = f(K)$  интенсивность отказов;
- 4  $t_0 = f(K)$  наработка на отказ.

Как видно, средняя наработка на отказ модернизированных электронасосов составила 3870 час. Снижение пескования до 0,01 г/л, которого можно добиться за счет улучшения качества строительства, а также пусковых режимов, позволяет увеличить наработку более чем в два раза. И наоборот, при увеличении пескования свыше 0,5 г/л наработка не будет превышать 2 тыс. час. Это указывает на необходимость продолжения работ по его снижению.

Характерно, что эмпирический закон распределения наработок до отказа в большинстве случаев имеет параметр " $\beta$ ", близкий к единице. Это объясняется тем, что в настоящее время эксплуатационные организации фиксируют только функциональный отказ, возникающий вследствие различных поломок (обрыв вала ротора, поломка пяты, пробой изоляции и др.). Интенсивность таких отказов носит постоянный характер. В то же время отказы, которые возникают в результате износа проточной части насоса и уплотнения рабочего колеса, имеют возрастающую интенсивность. Если не брать во внимание параметрический отказ, выражающийся в снижении подачи насоса, и КПД ниже допустимой величины, то в результате нарушения режима откачек и повышения энергетических затрат заметно снижается эффективность вертикального дренажа.

Для повышения эффективности работы установок вертикального дренажа необходимо определить допустимое снижение эксплуатационных параметров скважинных электронасосов и зафиксировать их как параметрический отказ.

### Л и т е р а т у р а

1. Б е л о у с о в А.Я. Некоторые вопросы повышения надежности погружных электронасосов типа ЭЦВ на скважинах вертикального дренажа в УзССР. - Труды САННИРИ. Вып. 135. - Ташкент: 1972, с. 169-178.
2. Б а р з и л о в и ч Е.Ю., К а ш т а н о в В.Л. Некоторые вопросы теории обслуживания сложных систем. - М.: Советское радио, 1971, с. 271.