

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА БАЙЕСА ПРИ ОЦЕНКЕ ВЕРОЯТНОСТИ
«ПОЛЕТА» ПОГРУЖНОГО НАСОСНОГО АГРЕГАТА
НА ЗАБОЙ СКВАЖИНЫ**

Атнагулов А.Р., Ишемгужин И.Е., Зотов А.Н., Ишемгужин Е.И.

Уфимский государственный нефтяной технический университет

При эксплуатации скважин электроцентробежными насосными установками на УЭЦН действуют различные факторы, приводящие к авариям типа «полет» (расчленение и обрыв погружного оборудования на забой скважины), учет которых позволит с достаточной точностью оценить техническое состояние агрегата. Авторами предлагается использовать метод Байеса, применяемый в теории надежности, позволяющий учитывать условия эксплуатации и наиболее достоверно судить о надежности насосного оборудования.

Наиболее трудно устраняемыми авариями погружных электроцентробежных установок для добычи нефти являются осложнения связанные с расчленением глубинного оборудования и падением его на забой («полет»). В литературе посвященной данному вопросу, авторы выделяют в качестве основной причины приводящей к полету агрегата повышенный уровень вибрации УЭЦН, что влечет усталостное разрушение металла. На колебания и работоспособность погружной установки влияют большое количество факторов, связанных с условиями эксплуатации и особенностями конструкции УЭЦН, учет которых даст возможность с определенной вероятностью оценить техническое состояние оборудования.

Известны несколько способов оценки технического состояния УЭЦН: контроль вибрационных параметров при эксплуатации погружного агрегата с помощью блока телеметрии; регистрация на устье скважины амплитуд потребляемого электродвигателем тока, амплитуд вибрации трубной головки и буферного давления; регистрация и анализ электрического сигнала; вибродиагностика на ремонтном предприятии и т.д. Из выше перечисленных методик ни одна не исключает применение вероятностно-статистических методов диагностики. Авторами предлагается для оценки технического состояния фонда эксплуатируемых электроцентробежных установок для добычи нефти использовать метод Байеса, применяемый в теории надежности, позволяющий

определить вероятность наступления события D (отказа или безотказной работы) при различных признаках K_j , присутствующих при наступлении события, т.е. данный метод, позволяет оценить техническое состояние УЭЦН при различных условиях эксплуатации.

Формула Байеса записывается:

$$P(D_i/K_j) = P(D_i) \frac{P(K_j/D_i)}{P(K_j)}$$

или

(1)

$$P(D_i/K_j) = P(D_i) \frac{P(K_j/D_i)}{\sum_{s=1}^m P(D_s) P(K_j/D_s)},$$

где i – данная гипотеза;

s – любая гипотеза;

m – число гипотез;

D_i – диагноз;

$P(D_i/K_j)$ – вероятность диагноза D_i , после того как стало известно наличие признака K_j (апостериорная вероятность диагноза);

K_j – признак, встречающийся при диагнозе D_i ;

$P(D_i)$ – априорная вероятность диагноза D_i , полученная по статистическим данным;

$P(K_j/D_i)$ – вероятность появления признака K_j у изделия с состоянием D_i .

$P(K_j)$ – полная вероятность, т.е. вероятность наступления признака K_j с любой из гипотез.

Авторами была обработана статистическая информация, приведенная в литературе по «полетам» насосного агрегата на забой скважины и получена диагностическая матрица по признакам $P(K_j/D_i)$. Значения $P(K_i/D_i)$ представлены в таблице 1, из которой видно, что вероятность безотказной работы по признакам практически одинакова для всех случаев. Равновероятность объясняется тем, что число аварий типа «полет» от общего фонда электроцентробежных установок по всем диагностическим признакам значительно мало.

Таблица 1

Значения $P(K_i/D_i)$ для случая «полета» УЭЦН на забой скважины

| Диагноз | Признак K_j | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--|-----------------|-----------------|------------------------------|---|-----------------|--------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|----------|
| | Глубина подвески K_1 , м | | | | Погружение под динамический уровень K_2 , м | | | | Содержание воды K_3 , % | | | | Содержание мех прим K_4 , г/л | | |
| | K_{11} | K_{12} | K_{13} | K_{14} | K_{21} | K_{22} | K_{23} | K_{24} | K_{31} | K_{32} | K_{33} | K_{34} | K_{41} | K_{42} | K_{43} |
| | <1200 | 1200-1500 | 1500-1800 | >1800 | <400 | 400-800 | 800-1400 | >1400 | <40 | 40-70 | 70-90 | >90 | <200 | 200-250 | >250 |
| $P(K_{11}/D_i)$ | $P(K_{12}/D_i)$ | $P(K_{13}/D_i)$ | $P(K_{14}/D_i)$ | $P(K_{21}/D_i)$ | $P(K_{22}/D_i)$ | $P(K_{23}/D_i)$ | $P(K_{24}/D_i)$ | $P(K_{31}/D_i)$ | $P(K_{32}/D_i)$ | $P(K_{33}/D_i)$ | $P(K_{34}/D_i)$ | $P(K_{41}/D_i)$ | $P(K_{42}/D_i)$ | $P(K_{43}/D_i)$ | |
| D_1 | 0,257 | 0,251 | 0,246 | 0,245 | 0,304 | 0,294 | 0,298 | 0,104 | 0,245 | 0,256 | 0,242 | 0,256 | 0,337 | 0,334 | 0,329 |
| D_2 | 0,047 | 0,221 | 0,349 | 0,384 | 0,032 | 0,069 | 0,054 | 0,844 | 0,330 | 0,142 | 0,388 | 0,140 | 0,164 | 0,314 | 0,522 |
| Диагноз | Признак K_j | | | | | | | | | | | | | | |
| | Угол наклона интервала спуска насоса K_5 , ° | | | Группы исполнения УЭЦН K_6 | | | Габариты ЭЦН K_7 | | Мощность ПЭД K_8 , кВт | | | | | | |
| | K_{51} | K_{52} | K_{53} | K_{61} | K_{62} | K_{63} | K_{71} | K_{72} | K_{81} | K_{82} | K_{83} | | | | |
| | 0-15 | 15-30 | 30-50 | Обычные | Усовершен | Импорт | УЭЦН 5 | УЭЦН 5А | <60 | 60-90 | >90 | | | | |
| $P(K_{51}/D_i)$ | $P(K_{52}/D_i)$ | $P(K_{53}/D_i)$ | $P(K_{61}/D_i)$ | $P(K_{62}/D_i)$ | $P(K_{63}/D_i)$ | $P(K_{71}/D_i)$ | $P(K_{72}/D_i)$ | $P(K_{81}/D_i)$ | $P(K_{82}/D_i)$ | $P(K_{83}/D_i)$ | | | | | |
| D_1 | 0,333 | 0,321 | 0,347 | 0,297 | 0,348 | 0,355 | 0,500 | 0,500 | 0,337 | 0,328 | 0,336 | | | | |
| D_2 | 0,347 | 0,549 | 0,104 | 0,807 | 0,142 | 0,052 | 0,499 | 0,501 | 0,269 | 0,446 | 0,286 | | | | |

Примечание: D_1 – безотказная работа УЭЦН, D_2 – «полет» насосного агрегата на забой.

Рассмотрим вероятность отказа по представленным признакам в таблице 1. С увеличением глубины подвески, погружением под динамический уровень и ростом содержания механических примесей в добываемой жидкости вероятность «полета» УЭЦН увеличивается, это в частности можно объяснить повышением динамических нагрузок, воспринимаемых корпусом насоса и колонной НКТ. При содержании воды в продукции скважин менее 40 % и от 70 % до 90 вероятность отказа наиболее высокая, что говорит о влиянии вязкости и плотности жидкости на величины переменных напряжений, возникающих в металле, о коррозионном воздействии. При угле наклона интервала спуска насоса $15 - 30^\circ$ (возникновение изгибных напряжений) и обычном исполнении насоса вероятность отказа также высока. С увеличением мощности ПЭД до 90 кВт количество «полетов» установок возрастает, в связи с повышением усилий действующих со стороны погружного электродвигателя. Однако при дальнейшем росте мощности количество аварий уменьшается, в результате увеличения веса ПЭД и ростом растягивающей нагрузки, уменьшающей уровень вибрации установки.

Допустим необходимо оценить вероятность «полета» УЭЦН, эксплуатируемого при следующих условиях: глубина подвески – 1900 м, погружение под динамический уровень – 1400 м, обводненность добываемой продукции – 90 %, содержание мехпримесей в жидкости – 250 г/л, угол наклона интервала спуска насоса – 30° , насос износостойкого исполнения, установка типа УЭЦН 5, мощность ПЭД – 90 кВт. Нарботка погружной установки на текущий момент составила $t = 100$ сут.

Нахождение вероятности «полета» насосного агрегата при рассматриваемых условиях эксплуатации будем проводить в следующей последовательности:

- 1) Определение вероятности безотказной работы УЭЦН, в результате обработки статистических данных по агрегатам, упавших на забой скважины.

В таблице 2 представлен пример наработки на отказ погружного оборудования и результаты выбора закона распределения. В данном случае законом распределения является закон Вейбулла.

Таблица 2

Наработка до отказа УЭЦН («полет» на забой скважины)

| Наработка до отказа, сут | Среднее значение, \bar{t} , сут | Средне квадрат. отклонение, σ , сут | Коэф. вариации, V | Доверит. интервал, \bar{t} , сут | Закон распределения | Критерий согласия |
|---|-----------------------------------|--|---------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------|
| 16, 24, 26, 62, 150, 172, 184, 228, 228, 256, 360, 360, 508, 509, 565, 565, 616 | 284 | 206,7 | 0,72 | $219,3 \leq \bar{t} \leq 393$ | Вейбулла | S |

Находим вероятность безотказной работы:

$$P(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{311,81}\right)^{1,4}\right). \quad (2)$$

На рисунке 1 приводится вероятность безотказной работы $P(t)$ УЭЦН и плотность распределения $f(t)$.

Вероятность безотказной работы для $t = 100$ сут, подсчитанная по выражению (2), составляет $P(t) = 0,82$, следовательно $P(D_2) = 0,18$ и $P(D_1) = 0,82$.

2) Определение вероятности наступления события D (отказа или безотказной работы) при различных признаках $K_i - P(D_i/K_i)$.

По выражению 2 и таблице 1 находим

$$P(D_2/K_i) = 0,18 \frac{0,384 \cdot 0,844 \cdot 0,388 \cdot 0,522 \cdot 0,549 \cdot 0,142 \cdot 0,499 \cdot 0,446}{0,82 \cdot 0,245 \cdot 0,104 \cdot 0,242 \cdot 0,329 \cdot 0,321 \cdot 0,348 \cdot 0,5 \cdot 0,328 + 0,18 \cdot 0,384 \cdot 0,844 \cdot 0,388 \cdot 0,522 \cdot 0,549 \cdot 0,142 \cdot 0,499 \cdot 0,446}$$

$$P(D_2/K_i) = 0,87.$$

Вероятность «полета» рассматриваемого УЭЦН при данных условиях эксплуатации велика и его использование не может быть продолжено.

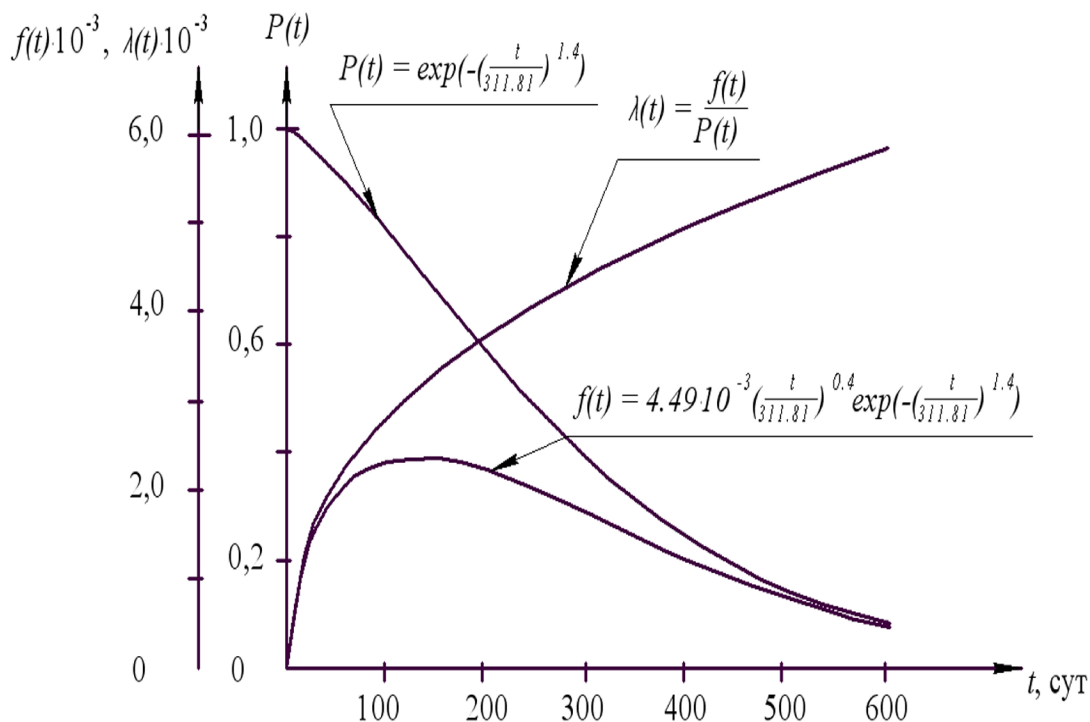


Рисунок 1. Вероятность безотказной работы $P(t)$ УЭЦН, плотность распределения $f(t)$, интенсивность отказов $\lambda(t)$

Выводы

Использование метода Байеса при оценке технического состояние эксплуатируемого фонда погружных электроцентробежных установок дает возможность с достаточной точностью судить о текущем состоянии оборудования и спрогнозировать ремонтные мероприятия. Диагностическая матрица позволяет выявить влияние различных факторов на надежность установки и определить направления работ по повышению работоспособности УЭЦН. Статистические данные, на которых базируется матрица необходимо постоянно уточнять, также для определенных регионов следует составлять свои таблицы, опираясь на промысловые данные.

Литература

1. Ишемгужин Е.И. Регрессионный анализ и планирование эксперимента при оценке надежности буровых и нефтепромысловых машин. – Уфа: Изд. Уфимск. нефт. ин-та, 1984 – 79 с.
2. Ишемгужин Е.И. Теоретические основы надежности буровых и нефтепромысловых машин. – Уфа: Изд. Уфимск. нефт. ин-та, 1981 – 84 с.
3. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 604 с.
4. Савчук В.П. Байесовские методы статистического оценивания: Надежность технических объектов. – М.: Наука. Гл. ред. физ. – мат. лит., 1989. – 328 с.
5. Пономарев Р.Н. Аварийные отказы оборудования УЭЦН и разработка мероприятий по их устранению. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Уфа, 2006.