

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«УХТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Направление подготовки  
(специальность)

Машины и оборудование

нефтяных и газовых промыслов

-

**ОТЧЕТ**

**По практической работе №3**

**Тема: Оценка выработки ресурса надежности по результатам ускоренных  
испытаний шарового крана**

По дисциплине

Надежность и работоспособность нефтепромысловых и  
буровых машин

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

Выполнил студент гр.

\_\_\_\_\_  
(ФИО)

Дата сдачи отчета

«»

20г.

Отчет принял:

\_\_\_\_\_  
(Ученая степень, ученое звание, должность)

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО)

Дата проверки

« »

Ухта 2023г.

## 1. Общие представления

В процессе ускоренных испытаний шарового крана изучается изнашивание уплотнительных элементов затворного устройства по мере нарастания числа циклов его перестановок.

Однако износ уплотнительных поверхностей в работающих кранах невозможно оценить методом геометрических измерений (например, измерением толщины уплотнительного кольца по мере его износа). Поэтому прибегают к оценке изнашивания уплотнительных седел по косвенному признаку. Таким признаком является величина утечки газа через уплотнительное сопряжение шара и седла: чем больше износ уплотнения, тем больше зазор в уплотнительной паре, тем больше, следовательно, величина утечки.

Величина утечки может быть измерена одним из инструментальных методов, например, методом измерения объема газа, протекающего через уплотнение в гидравлическую ловушку за фиксированный промежуток времени (см<sup>3</sup>/мин).

Затем выполняется пересчет статистических параметров выборки, характеризующей динамику утечек, в статистические параметры ресурсных показателей.

1. Среднее значение  $\bar{t}_ц$  вероятного ресурса перестановок затворного устройства

$$\bar{t}_ц = \frac{J_0}{\bar{a}}, \text{ циклы,} \quad (1)$$

где  $J_0$  – величина утечки, см<sup>3</sup>/мин:

$\bar{a}$  – среднее значение интенсивности утечек см<sup>3</sup>/(мин·цикл), определяемое по формуле

$$\bar{a} = \frac{1}{N_H} \cdot \sum_1^N a_i \quad (2)$$

при

$$a_i = \frac{1}{(N_ц)_i} \cdot \sum_1^N (q_y)_i, \quad (3)$$

здесь  $N_H$  – количество наблюдений;

$(N_ц)_i$  – количество циклов в каждом  $i$ -том наблюдении;

$a_i$  – интенсивность утечек в  $i$ -том наблюдении;

$(q_y)_i$  – средняя величина утечки, измеренная в каждом  $i$ -том наблюдении;

2. Величина дисперсии  $S_t^2$ :

$$S_t^2 = \left( \frac{J_0}{a} \right)^2 \cdot S_a^2 \quad (4)$$

при

$$S_a^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N_H} (a_i - \bar{a})^2}{N_H - 1} \quad (5)$$

3. Величина среднеквадратического отклонения  $S_t$ :

$$S_t = \sqrt{S_t^2}; \quad (6)$$

4. Функция распределения  $F(t)$  наблюдений на отказ (распределение – нормальное)

$$F(t) = \Phi_0 \left[ \frac{t_u - \bar{t}_u}{S_t} \right] \quad (7)$$

5. Вероятность безотказной работы

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (8)$$

7. Плотность распределения

$$f(t) = \frac{1}{S_t \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[ -\frac{(t_u - \bar{t}_u)^2}{2S_t^2} \right] \quad (9)$$

8. Интенсивность отказов

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (10)$$

3. Цель занятий

3.1. Изучение методики показателей надежности по результатам ускоренных испытаний

3.2. Расчет показателей надежности

3.3. Построение графиков

3.4. Заключение о ресурсном состоянии объекта после завершения испытаний

4. Проведение занятия.

4.1. Заполнение протокола испытаний

Задание для заполнения протокола. Форма протокола представлена в виде таблицы 1.

Таблица 1

Вариант № 1					
№ п/п	Шаровой кран $D_y = 300$ мм, $P_y = 10,0$ МПа				
	Количество циклов $N_{ц}$	Перепад давления $\Delta P$ , МПа	Величина утечек $q$ , см <sup>3</sup> /мин		
			левое седло, $q_{л}$	правое седло, $q_{п}$	среднее значение, $q_{ср}$
1	0	10/0,6	0	0	0
2	400	10/0,6	2	1	1,5
3	700	10/0,6	6	5	5,5
4	1200	10/0,6	9	11	10,0
5	1700	10/0,6	12	13	12,5
6	2000	10/0,6	9	10	9,5
7	2200	10/0,6	11	9	10,0

#### 4.2. Расчет показателей надежности

##### 4.2.1. Составляется вспомогательная таблица (таблица 2)

Таблица 2

Вспомогательная таблица				
Шаровый кран $D_y 300$ : $P_y = 10$ МПа				
№ п/п	Количество циклов, ( $N_{ц}$ );	Средняя величина утечек ( $q_{ут}$ ) <sub>ср.i</sub> , см <sup>3</sup>	Интенсивность утечек $a_i = \frac{(q_{ут})_{ср.i}}{(N_{ц})_i}$ , см <sup>3</sup> /мин	Промежуточное вычисление $(a_i - \bar{a})^2$
1	2	3	4	5
1	0	0	0	$2,732 \cdot 10^{-5}$
2	400	1,5	$3,75 \cdot 10^{-3}$	$2,181 \cdot 10^{-6}$
3	700	5,5	$7,857 \cdot 10^{-3}$	$6,918 \cdot 10^{-6}$
4	1200	10,0	$8,333 \cdot 10^{-3}$	$9,649 \cdot 10^{-6}$
5	1700	12,5	$7,352 \cdot 10^{-3}$	$4,520 \cdot 10^{-6}$
6	2000	9,5	$4,75 \cdot 10^{-3}$	$2,275 \cdot 10^{-7}$
7	2200	10,0	$4,545 \cdot 10^{-3}$	$4,645 \cdot 10^{-7}$
N=7	$\Sigma N_{ц}=8200$	$\Sigma(q_{ут})_{ср.i} = 49$ $\bar{q}_{ут} = \frac{\Sigma(q_{ут})_{ср.i}}{N} = 7$	$\Sigma a_i = 36,589 \cdot 10^{-3}$ $\bar{a} = \frac{\Sigma a_i}{N} = 5,227 \cdot 10^{-3}$	$\Sigma(a_i - \bar{a})^2 = 5,128 \cdot 10^{-5}$ $S_a^2 = \sqrt{\frac{\Sigma(a_i - \bar{a})^2}{N-1}} = 8,55 \cdot 10^{-6}$

#### 4.2.2. Выполняются промежуточные расчеты

- рассчитываются показатели интенсивности утечек  $a_i$  для каждого интервала наблюдений (формула в таблице 2). Результаты расчетов заносятся в графу 4 таблицы 2;

рассчитываются средние значения величины интенсивности утечек (формула в таблице 2);

определяется среднее значение  $\bar{t}_u$  вероятного ресурса перестановок затворного устройства при допустимой величине утечки  $J_0 = 150$  см<sup>3</sup>/мин:

$$\bar{t}_u = \frac{J_0}{\bar{a}} = \frac{150}{5,227 \cdot 10^{-3}} = 28697,2 \text{ циклов}$$

рассчитывается значение  $(a_i - \bar{a})^2$  для определения величины дисперсии выборки (формула в таблице 2). Результаты расчетов записываются в графу 5 таблицы 2;

рассчитывается дисперсия средних значений интенсивности утечек (формула в таблице 2);

определяется величина дисперсии ресурса перестановок  $S_t^2$  для условия максимально допустимой утечки:

$$S_t^2 = \left( \frac{J_0}{\bar{a}} \right)^2 \cdot S_a^2 = \left( \frac{150}{(5,227 \cdot 10^{-3})^2} \right) \cdot 8,55 \cdot 10^{-6} = 2,58 \cdot 10^8$$

вычисляется среднеквадратическое отклонение ресурса перестановок  $S_t$ :

$$S_t = \sqrt{S_t^2} = \sqrt{2,58 \cdot 10^8} = 16050,7 \text{ циклов}$$

#### 4.2.3. Вычисляются показатели надежности

Составляется таблица для расчета показателей надежности (таблица 3)

Таблица 3

Таблица для расчета показателей надежности

№ п/п	Количество циклов $t_u$	$\Phi \left[ \frac{t - \bar{t}_u}{S_t} \right]$	Функция распределения F(t)	Безотказность работы R(t) = 1-F(t)	Плотность распределения f(t)	Интенсивность отказов h(t) = f(t)/R(t)
1	2	3	4	5	6	7
1	0	-1,79	0,0367	0,9633	$1,226 \cdot 10^{-4}$	$1,273 \cdot 10^{-4}$
2	400	-1,76	0,0392	0,9608	$1,173 \cdot 10^{-4}$	$1,221 \cdot 10^{-4}$
3	700	-1,74	0,0409	0,9591	$1,136 \cdot 10^{-4}$	$1,184 \cdot 10^{-4}$
4	1200	-1,71	0,0436	0,9564	$1,076 \cdot 10^{-4}$	$1,125 \cdot 10^{-4}$
5	1700	-1,68	0,0465	0,9535	$1,021 \cdot 10^{-4}$	$1,071 \cdot 10^{-4}$
6	2000	-1,66	0,0485	0,9515	$9,895 \cdot 10^{-5}$	$1,040 \cdot 10^{-4}$
7	2200	-1,65	0,0495	0,9505	$9,693 \cdot 10^{-5}$	$1,020 \cdot 10^{-4}$
N=7	8200	-12,00	0,3049	6,6951	$7,591 \cdot 10^{-4}$	$7,934 \cdot 10^{-4}$

Функция наработки на отказ F(t) определяется по формуле :

$$F(t)_1 = \Phi \left[ \frac{t_{нл} - \bar{t}_u}{S_t} \right]$$

Для каждого интервала наблюдений.

На основе этих данных с помощью статистической таблицы «Интегральный закон нормального распределения» Приложения 8 [1] отыскиваются значения функций  $F(t)$  наработки на отказ шарового крана магистрального газопровода. Результаты табличных определений заносятся в графу 4 таблицы 3;

рассчитывается вероятность безотказной работы по формуле:

$$R(t)_i = 1 - F(t)_i$$

- вычисляем функцию плотности распределения  $f(t)$  по формуле:

$$[f(t)]_i = (S_i \cdot \sqrt{2\pi})^{-1} \exp\left[-\frac{(t_i - \bar{t}_n)^2}{2S_i^2}\right]$$

вычисляется показатель интенсивности отказов по формуле:

$$[h(t)]_i = \frac{[f(t)]_i}{[R(t)]_i}$$

4.2.4. Выстраиваются графики показателей надежности (рисунок 1)

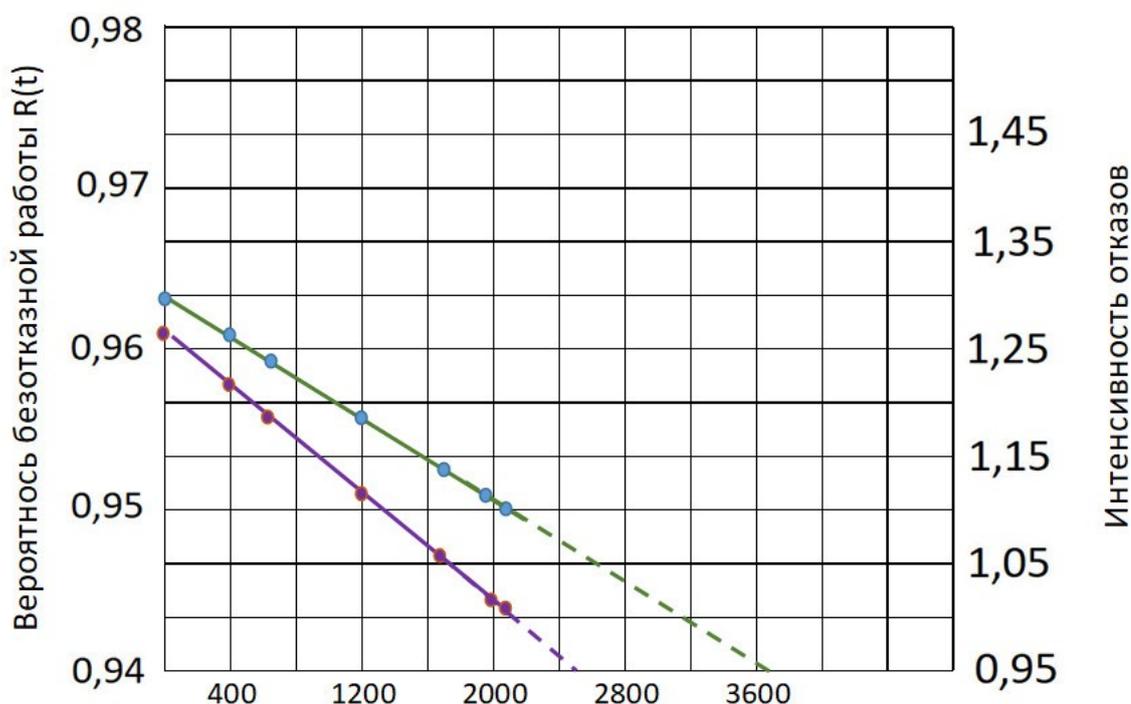


Рисунок 1 – График показателей надежности

$R(t)$  – вероятность безотказной работы;  $h(t)$  – интенсивность отказов

### Заключение

По результатам ускоренных испытаний установлено, что затворный механизм испытанного крана ( $D_y = 300$  мм,  $P_y = 10$  МПа на момент выработки установленного ресурса  $t_{ц} = 2200$  циклов) имеет показатель вероятности безотказной работы  $P(t) = 0,9505$ . Для условий III класса надёжности допустимый показатель вероятности безотказной работы составляет  $[P(t)] = 0,88$ .

При этом функция наработки на отказ  $F(t)$  на момент выработки установленного ресурса ( $t_{ц} = 2200$  циклов) не превышала значения  $F(t)_{7} = 0,0495$ , то есть износ затворного механизма составил около 4,9 %.

Таким образом, качество использованного шарового крана вполне соответствует высокому качеству изготовления.