

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 622.276.5

**Акопов Сергей Аршавинович, Овчаров Сергей Николаевич,
Акопов Арсен Сергеевич**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ НЕФТЯНОГО И ГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В статье рассмотрены вопросы определения долговечности деталей нефтегазового оборудования. Приведены расчетные формулы для определения числа циклов нагружения до момента образования трещин. В качестве примера приведен расчет долговечности корпусной детали гидравлического разъединителя гибких труб диаметром 60,3 мм.

Ключевые слова: долговечность элемента, коэффициент запаса прочности по долговечности.

**Akopov Sergei A., Ovcharov Sergey N., Akopov Arsen S.
DEFINITION OF LIFE PART OF OIL AND GAS EQUIPMENT**

There are considered questions of identify of the durability of details of oil and gas equipment. It is shown formulas for determining the number of loading cycles until cracking. As an example, the calculation of the base detail durability of hydraulic disconnect for flexible pipes of ID 60,3 mm.

Key words: Durability element, a safety factor of durability.

Известно, что долговечность любого оборудования характеризует его работоспособность в течение определенного срока службы, сохраняя при этом предварительно заданные технические характеристики. В свою очередь, долговечность оборудования зависит от долговечности отдельных элементов его конструкции [1, 2, 3].

При растяжении гладкого образца предельная (разрушающая) деформация определяется выражением:

$$l_k = l_n \frac{1}{1 - \psi}, \quad (1)$$

где ψ – относительное поперечное сужение образца.

При сложном напряженном состоянии, когда главные напряжения $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$, для зоны концентрации значение предельной (разрушающей) деформации l_f зависит от объемности напряженного состояния и значения l_k .

$$l_f = \left[\frac{\sigma_{ik}^2}{\sigma_{1k}(\sigma_{1k} + \sigma_{2k} + \sigma_{3k})} \right] \cdot l_k. \quad (2)$$

Стоящая в квадратных скобках величина характеризует объемность напряженного состояния и обозначается V_k . В объем случае V_k всегда меньше единицы.

В качестве примера рассмотрим напряженное состояние в окрестностях кончика трещины, которая могла образоваться в корпусной детали гидравлического разъединителя для гибких труб $\varnothing 60,3$ мм, изготовленной из стали 40Х при проведении технологических операций термообработки. Расчеты показывают [3], что при плоском напряженном состоянии $\sigma_{1k} = 0,9165$, $V_k = 0,467$. При плоской деформации $\sigma_{ik} = 0,3467$, $V_k = 0,05$.

Отсюда следует, что при наличии трещин предельная (разрушающая) деформация уменьшается в 20 раз по сравнению с исходной пластичностью материала.

Вместо $l_k = 0,43$ (при $\psi = 0,4$) получаем $l_f = 0,0215$, т. е. 2,15 %.

Данные расчетов говорят о том, что при разработке методики расчета элементов конструкции нефтегазового оборудования на долговечность следует учитывать влияние концентраторов напряжений, образующихся в результате сложных конструктивных форм, технологических операций термообработки, наличия агрессивных сред (например, наличие сероводорода) и т. д.

Основными параметрами, определяющими долговечность конструктивных элементов нефтяного и газового оборудования, являются:

- предел прочности материала σ_B ;
- модуль упругости E ;
- предел выносливости σ_{-1} ;
- пластичность материала l_k ;
- объемность напряженного состояния B_k ;
- характеристика асимметрии циклов напряжений r и деформаций r_* ;
- упругопластичная деформация в зоне концентрации напряжений $l_{\max}$ (относительная величина $l_{\max} = l_{\max} / l_T$);
- упругая деформация l_T .

Долговечность элемента конструкции удобно определять, используя следующие относительные величины:

l_k – относительная пластичность ($l_k = l_k / l_T$);

σ_B – относительный предел прочности ($\sigma_B = \sigma_B / \sigma_T$);

σ_{-1} – относительный предел выносливости ($\sigma_{-1} = \sigma_{-1} / \sigma_T$).

Основное уравнение, с помощью которого определяется число циклов до образования трещин, имеет вид:

$$\bar{l}_{\max} = \frac{B_k \cdot \bar{l}_k}{(4N_0)^{m_0} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1+r_*}{1-r_*}} + \frac{2\bar{\sigma}_B}{(4N_0)^{m_e} + \frac{1+r}{1-r}}, \quad (3)$$

где:

$$B_k = \frac{\sigma_{ik}^2}{\sigma_{ik} (\sigma_{1k} + \sigma_{2k} + \sigma_{3k})}, \quad (4)$$

N_0 – число циклов до образования трещин.

Величины, стоящие в правой части для расчетов элементов конструкций нефтяного и газового оборудования определяются в соответствии с [3,4].

Комплексы $\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1+r}{1-r}\right)$, $\left(\frac{1+r}{1-r}\right)$ значительно меньше по сравнению с $(4N_0)^{m_0}$ и $(4N_0)^{m_e}$ соответственно, поэтому ими пренебрегают, поскольку при развитии пластических деформаций в зоне концентратора значение $r = -1,0$.

Таким образом, уравнение (1) можно представить в упрощенном виде:

$$\bar{l}_{\max k} = \frac{B_k \cdot \bar{l}_k}{(4N_0)^{m_0}} + \frac{2\bar{\sigma}_B}{(4N_0)^{m_e}}. \quad (5)$$

Показатели степеней m_0 , m_e определяются следующими зависимостями:

$$m_0 = 0,36 + 0,002\sigma_B,$$

$$m_e = 0,132 \cdot \lg(\sigma_B / \sigma_{-1}),$$

причем $\sigma_{-1} = (0,54 - 0,002\sigma_B) \cdot \sigma_B$

Из уравнения (2) можно получить удобное выражение для расчетов при помощи последовательных приближений [3]:

$$N_0 = \frac{1}{4} \cdot \left[\frac{B_k \cdot \bar{l}_k}{\bar{l}_{\max k} - 2 \cdot \bar{\sigma}_B / (4N_0)^{m_e}} \right]^{1/m_0}. \quad (6)$$

Комплекс $\left[2 \cdot \bar{\sigma}_B / (4N_0)^{m_e}\right]$ мало отличается от 2,0, поэтому значение N_0 можно определить по формуле:

$$N_0 = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{B_k \cdot \bar{l}_k}{\bar{l}_{\max k} - 2} \right)^{1/m_0}. \quad (7)$$

После определения числа циклов до образования трещин N_0 можно приблизительно уточнить число циклов до разрушения:

$$N_e = 1,9 N_0^{0,9615}. \quad (8)$$

Более точное значение N_e можно определить методом механики разрушения, однако для этого нужны такие постоянные параметры материала как вязкость разрушения K_{IC} и скорость докритического роста трещин d_i / dN .

Приближенное значение d_i / dN может быть определено по формуле:

$$\frac{d_i}{dN} = A \cdot \frac{K_i^2}{K_{IC}^2 \cdot \sigma_T^2}. \quad (9)$$

где $A \cong 2,5 \cdot 10^{-3}$.

Поскольку коэффициент интенсивности напряжения

$$K_i \cong \alpha \cdot \sigma \sqrt{\pi \cdot l},$$

где α – геометрический параметр, l – длина трещины, интегрирование (6) даст

$$N_e = \frac{K_{IC}^2 \cdot \sigma_T^2}{A \cdot \alpha^4 \cdot \pi^2 \cdot \sigma^4} \cdot \left(\frac{1}{l_0} - \frac{1}{l_{кр}} \right). \quad (10)$$

Здесь l_0 – начальная длина трещины, $l_{кр} = \frac{K_{IC}^2}{\alpha^2 \cdot \pi \cdot \sigma^2}$ – критическая длина трещины.

Обычно принимают значение коэффициента запаса прочности по долговечности $n_N = N_0 / N_e$ равным $\cong 4$, где N_e число циклов нагружения при эксплуатации. При этом следует иметь в виду, что в уравнениях (3,4) для определения N_0 следует использовать минимальные значения механических характеристик материалов по ТУ, ГОСТ и другим документам.

В качестве примера приведем расчет долговечности корпусной детали гидравлического разъединителя гибких труб диаметром 60,3 мм, имеющего в соответствии с [3] $\alpha_\sigma = 2,5 \cdot \sigma_i = 30$ кгс/мм²:

$$l_{\max} = 3,29; m_0 = 0,5;$$

$$m_e = 0,0525;$$

$$l_f = B_k \cdot l_k = 113,1;$$

$$\sigma_B = 1,579.$$

Получаем согласно зависимостям (3) $N_0 = 1860$ циклов, и по (4) $N_0 = 1920$, т. е. достаточно близкие. Значение $N_C = 2640$. Полученный результат соответствует стабильным конструкционным материалам, для которых $\sigma_{0,2} / \sigma_B \leq 0,6$. В случае $\sigma_{0,2} / \sigma_B \geq 0,6$ в рассмотрение вводится параметр разупрочнения материала:

$$C = 1,5 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{1 - \sigma_{0,2} / \sigma_B} - 2,5 \right). \quad (11)$$

Расчет числа циклов до разрушения с учетом разупрочнения материала приближенно проводится по соотношению:

$$N_C^* = \frac{1,04 \cdot m_0}{2 \cdot (\bar{l}_{\max k} - 2) \cdot C} \cdot \ln \left[1 + \frac{2 \cdot (\bar{l}_{\max k} - 2) \cdot C}{1,04 \cdot m_0} \cdot N_C \right], \quad (12)$$

где N_C – находится по формуле (5).

Для условий предыдущего примера находим $C \cong 0,00125$. В этом случае $N_C^* \cong 460$.

Таким образом, разупрочнение материала существенно снижает долговечность конструкции и это должно учитываться при проектировании элементов конструкций. Желательно допускать упругопластические деформации, незначительно превышающие $l_{\max k} \cong 2,0$.

Литература

1. Кагаев В. П., Махутов Н. А., Гусенков А. П. Расчет деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. Справочник. М., Машиностроение, 1985. 265 с.
2. Махутов Н. А. Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность. М., Машиностроение, 1981. 180 с.

3. Результаты исследований по проблемам прочности и долговечности элементов конструкций нефтяного оборудования. Научно-технический отчет № 106-9-97 / под ред. А. В. Бондарь. Воронеж, 1997. 43 с.

4. Технические условия оборудования устья скважин и фонтанного оборудования. Американский нефтяной институт. Спецификация 6А, 17 редакция, 1996.

УДК 622.276.5.001.5

**Афонин Леонид Алексеевич, Васильев Владимир Андреевич,
Гуныкина Татьяна Александровна, Николайченко Александр Сергеевич**

ОБОСНОВАНИЕ ВХОДНОГО ДЕБИТА СКВАЖИНЫ

В статье проанализированы результаты гидродинамических исследований скважин. Выявлена определенная закономерность по технологическому режиму – диаметр штуцера обычно больше, чем максимальный диаметр штуцера при ГДИ. Приведены примеры расчета коэффициента сопротивления штуцера по данным исследования скважин на месторождении Белый Тигр.

Ключевые слова: дебит, скважина, штуцер, давление, разгазирование, обводненность, насосная установка, газовый фактор.

**Afonin Leonid A., Vasilev Vladimir A., Gunkina Tatyana A., Nikolaychenko Aleksandr S.
RATIONALE INPUT RATE OF FLOW OF THE WELL**

The article analyzes results of hydrodynamic research the well and of technological mode of their work. The analysis revealed a certain regularity technological mode - fitting diameter is usually more than the maximum diameter of the fitting at the hydrodynamic research. The Provides examples of calculation the coefficient of resistance connecting according to data studies wells at the field White Tiger.

Key words: rate of flow, well, fitting, pressure, liberation of gas, water cut, pumping plant, gas-oil ratio.

При прогнозировании добычи нефти по отдельным скважинам на последующий год эксплуатации необходимо обосновать входной дебит по нефти на начало года и предполагаемый коэффициент снижения дебита в течение года.

Обычно дебит скважины устанавливается с учетом факторов, ограничивающих отбор жидкости, которые выявляются при исследовании скважины в процессе ее эксплуатации. По результатам исследований строятся регулировочные кривые, т. е. зависимость параметров работы скважины от диаметра штуцера: дебит нефти, дебит жидкости, газовый фактор, содержание воды и механических примесей (песка), давление на забое и на устье скважины, депрессия на пласт.

Существенное увеличение газового фактора может быть обусловлено прорывом газа из газовой «шапки» (при ее наличии), разгазированием нефти в призабойной зоне пласта (давление на забое скважины снижается ниже давления насыщения).

Существенное увеличение содержания воды может быть обусловлено поступлением подошвенной воды (при наличии водяного конуса) или прорывом воды по напластованию (в условиях заводнения залежи или расположения скважины вблизи контура нефтеносности).

Существенное увеличение содержания механических примесей (песка) может быть связано с интенсивным выносом несвязных (пелитовых или алевролитовых) частиц горной породы или разрушением призабойной зоны пласта. При исследованиях следят за изменением отметки забоя скважины в условиях накопления песчаной пробки.

Ограничения по дебиту могут быть обусловлены давлением в системе нефтегазосбора.

Определенную роль играют технические и организационные причины (аварийные ситуации в системе сбора и подготовки нефти и газа, при хранении и реализации товарной продукции, утилизации пластовых вод и т. д.).

Все эти факторы, в конечном итоге, приводят к постоянному изменению режима работы скважины: при фонтанном способе эксплуатации меняется диаметр штуцера, при газлифтном способе – расход рабочего агента (газа), при насосном способе – параметры работы насосной установки.

Существующее состояние разработки нефтяного месторождения Белый Тигр характеризуется интенсивной закачкой воды в залежь с целью поддержания пластового давления, обеспечивающего фонтанный способ добычи нефти. Однако в отдельных скважинах забойное давление приближено к давлению насыщения, отмечено образование локальной газовой шапки, разгазирование нефти в призабойной зоне пласта.