

УДК 004.021+004.3+004.4

Г.А. ГУЛУЕВ, Ас.Г. РЗАЕВ, Ф.Г. ПАШАЕВ, М.Г. РЕЗВАН

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЯ НА ПОЛИРОВАННЫЙ ШТОК ШТАНГОВЫХ ГЛУБИННЫХ НАСОСОВ КОМБИНИРОВАННЫМ СПОСОБОМ

Показано, что эксплуатируемые на промыслах Азербайджана датчики усилия ДУИ и ДЧЛП не позволяют оценить абсолютную величину нагрузки на полированный шток штанговых глубинных насосов. Предлагается алгоритмический способ оперативного вычисления приближенных максимальных и минимальных нагрузок на полированный шток для каждой скважины в зависимости от цикла работы насоса и масштабирования выходных параметров датчиков по вычисленным нагрузкам.

Ключевые слова: нефтяная добыча, скважина, штанговые глубинные насосы, динамограмма, ход, усилие

1. Введение. Известно, что на сегодняшний день наиболее распространенным способом контроля режимов работы и диагностики неисправностей подземного оборудования скважин, эксплуатирующихся штанговыми глубинными насосами (ШГН), является система динамометрирования. Основными элементами системы динамометрирования являются его датчики. Как известно, датчики динамометрирования - это датчик хода $S(t)$ и датчик усилия $P(t)$. Датчики хода предназначены для определения параметров движения: точки подвеса колонны насосных штанг - длина хода, период качаний и моменты прохождения штоком нижней и верхней мертвых точек. А датчики усилия определяют нагрузку на полированный шток, которая складывается из веса поднимаемой из скважины жидкости, веса колонны насосных штанг и сил трения в насосе и колонне [1-3].

Анализ функций и важности каждого датчика в построении динамограмм показывает, что самыми важными и ответственными являются датчики усилия, так как к ним предъявляются жесткие требования по простоте конструкции, чувствительности, надежности, точности и удобствам монтажа в зависимости от места и способа установки их на СКН.

За время эксплуатации ШГН в нефтяной промышленности разработаны и внедрены многочисленные датчики усилия:

- датчики усилия с аналоговыми (датчики усилия интенсивный ДУИ) и частотными (датчики частотных линейных перемещений ДЧЛП) выходами, устанавливаемые на балансирах СКН [4];
- накладные датчики «Автон-302» переносного динамографа «Автон ШГН профи» [5];
- датчики типа «Loadtrol», размещаемые над верхней траверсой [6];
- датчики усилия ДУ-04 системы ДДС-04, размещаемые между траверсами [7,8].

На нефтяных промыслах Республики Азербайджан широкое применение получили датчики ДУИ и ДЧЛП по той причине, что они просты в установке, монтаже и эксплуатации. Они измеряют деформацию балансира, что позволяет косвенным образом судить о действующем на полированный шток усилии. Принцип действия таких датчиков основан на измерении длины перемещения в результате деформации изгиба балансира. Как известно, во-первых, балансиры изготавливаются с большим запасом прочности, что уменьшает чувствительность этого способа, во-вторых, величина деформации балансира СКН зависит не только от приложенной к нему нагрузки, но и от температуры окружающей среды, конструкции СКН, материала самого балансира. Сказанное не позволяет по показаниям датчика судить о значениях усилия на полированный шток в абсолютных единицах, особенно для глубоких скважин [9].

В результате полученная динамограмма ШГН по показаниям этих датчиков не дает оператору

информации об абсолютном значении усилия на полированный шток за цикл работы насоса.

Она дает только относительное изменение усилия в единицах выходного параметра датчиков (рис.1). Этот недостаток может быть устранен заменой датчиков ДУИ и ДЧЛП на датчики непосредственного измерения усилия на полированный шток.

Однако, это требует большие материальные затраты, что на старых промыслах оказывается экономически неоправданным.

Альтернативным вариантом является масштабирование выходных данных имеющихся датчиков ДУИ или ДЧЛП на рассчитанные теоретическим путем максимальные и минимальные абсолютные значения усилия на полированный шток и его хода для каждого конкретного скважинного оборудования в зависимости от периода работы насоса.

2. Постановка задачи. По таким данным эксплуатации скважины, как - длина подвески; длина хода; диаметр глубинного насоса; число качаний в минуту; плотность добываемой жидкости; диаметр трубы; число ступеней штанг и их диаметры; динамический уровень - необходимо рассчитать нагрузку на полированный штанг. Нужно подобрать из литературы наиболее точные теоретические формулы для расчета минимальных и максимальных значений усилия на полированный шток. Составить алгоритм и программу вычисления выбранной формулы. Составить общий алгоритм построения динамограммы с показателями абсолютных нагрузок. Составленные программы проверить на контрольных примерах для конкретных скважин.

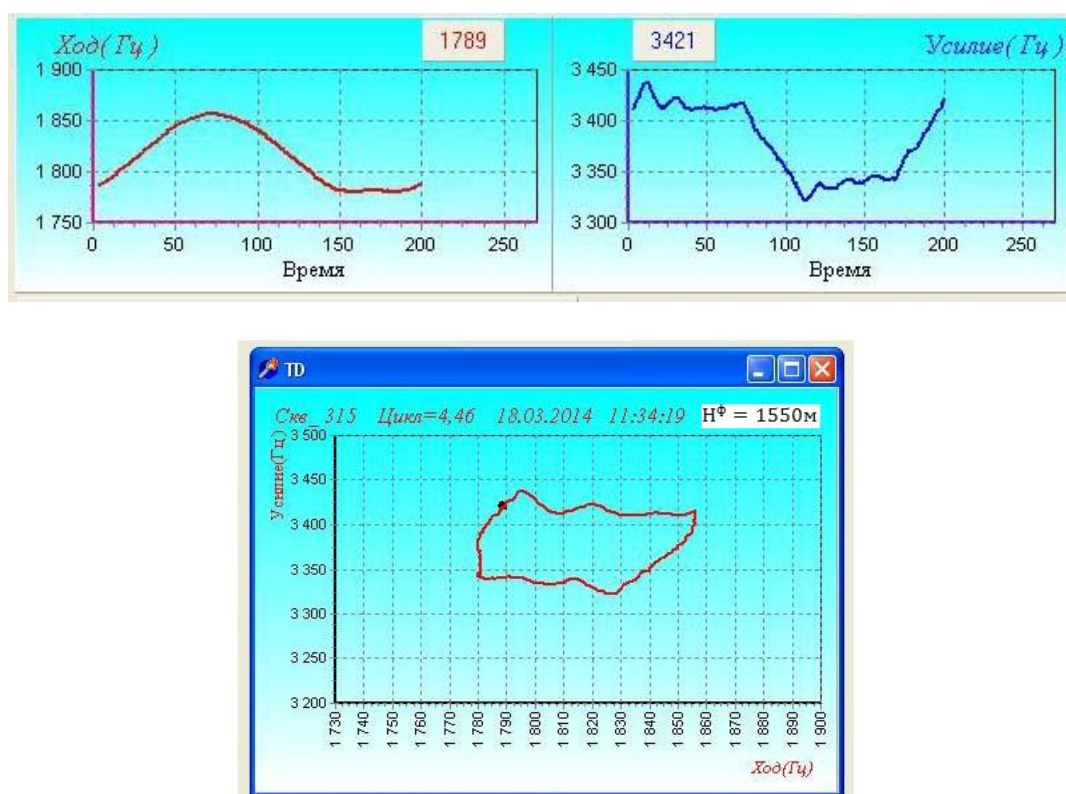


Рис.1 График изменения хода $S(t)$, усилия $P(t)$ и динамограмма скважины №315 Ширван ОС, построенная в единицах выходного параметра датчиков.

3. Решение задачи. Литературный анализ формул расчета экстремальных (максимальных и минимальных) нагрузок показывает, что из всех приближенных формул для определения

экстремальных (максимальных и минимальных) нагрузок за цикл действия насоса наилучшими по точности являются формулы А.С.Вирновского [10]. Экспериментальными исследованиями в Аз. НИИ ДН эти формулы проверены почти для всего диапазона условий применения обычной насосной установки, и их точность удовлетворяет любые практические требования [2]:

$$P_{\max} = P'_{\text{жс}} + P'_{\text{ум}} + \frac{1}{3} a_1 \frac{D}{d} \sqrt{\frac{\omega^2 S_0}{g}} \sqrt{a_1 \psi - \frac{\lambda}{S_0}} \cdot (P_{\text{ум}} + 0,3kP'_{\text{жс}}) + \frac{1}{2} \alpha_1 \frac{\omega^2 S_0}{g} \left(a_1 - \frac{2\lambda}{\psi S_0} \right) \left(1 - \frac{\psi}{2} \right) P_{\text{ум}} \quad (3.1)$$

$$P_{\min} = P'_{\text{ум}} - \frac{1}{3} a_2 \frac{D}{d} \sqrt{\frac{\omega^2 S_0}{g}} \sqrt{a_2 \psi - \frac{\lambda}{S_0}} P_{\text{ум}} - \frac{1}{2} a_2^2 \frac{\omega^2 S_0}{g} \left(a_2 - \frac{2\lambda_0}{\psi S_0} \right) \left(1 - \frac{\psi}{2} \right) \quad (3.2)$$

Здесь, $P'_{\text{жс}}$ и $P'_{\text{жс}}$ - веса столба жидкости, соответственно от динамического уровня и от насоса до устья скважины с площадью, равной площади сечения плунжера, в кг :

$$P'_{\text{жс}} = F \cdot \gamma_{\text{жс}} \cdot H \quad (3.3)$$

$$P_{\text{жс}} = F \cdot \gamma_{\text{ж}} \cdot L \quad (3.4)$$

где: $F = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$ - площадь сечения плунжера, в м^2 ;

$\gamma_{\text{жс}}$ - объемный вес откачиваемой жидкости, в $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

H - глубина стояния динамического уровня, в м ;

L - глубина спуска насоса, в м ;

$P'_{\text{ум}}$ - вес колонны штанг в жидкости, в кг :

$$P'_{\text{ум}} = q_{\text{ум}} Lb \quad (3.5)$$

$$b = \frac{\gamma' - \gamma_{\text{жс}}}{\gamma'} \quad (3.6)$$

γ' - объемный вес металла штанг, в $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$;

$P_{\text{ум}}$ - вес колонны штанг в воздухе, в кг :

$$P_{\text{ум}} = q_{\text{ум}} Lb \quad (3.7)$$

$q_{\text{ум}}$ - вес 1-го погонного метра штанг с муфтами, в кг ;

D, d - диаметры насоса и штанг (верхней штанги) соответственно, в одноименных единицах;

g - ускорение силы тяжести, в $\frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$;

ω - угловая скорость вращения кривошипа, в $\frac{1}{сек}$:

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \quad (3.8)$$

n - количество циклов качания насоса в минуту;

S_0 - длина хода полированного штока, в $м$;

$\alpha_1, \alpha_2, a_1, a_2$ - кинематические коэффициенты А.С. Вирновского сведены в таблице 1;

λ - удлинение штанг от веса столба жидкости в $м$ для одноразмерной колонны:

$$\lambda = \frac{P'_{жс} \cdot L}{E \cdot f_{ум}} \quad (3.9)$$

E - модуль упругости, принимаемый везде равным $2100000 \frac{кг}{см^2}$:

k - коэффициент, учитывающий изменения сечения потока жидкости при переходе из насоса в насосные трубы;

$$k = \frac{F - f_{ум}}{F_{ум} - f_{ум}} \quad (3.10)$$

$F_{тр}$ - площадь просвета насосных труб;

$f_{тр}$ - площадь сечения тела труб;

Таблица 1. Коэффициенты α и a к формулам (3.1) и (3.2)

Длина хода, $м$.	Ход вверх		Ход вниз	
	α_1	a_1	α_2	a_2
Станок СКН5-1812				
0,9	1,07	0,93	0,92	1,10
1,2	1,06	0,94	0,90	1,13
1,5	1,09	0,92	0,87	1,17
1,8	1,12	0,88	0,82	1,27
Станок СКН10-2115				
1,2	1,06	0,94	0,93	1,08
1,5	1,10	0,92	0,90	1,12
1,8	1,10	0,91	0,86	1,19
2,1	1,15	0,89	0,82	1,27

Таблица 2. Величины $F_{тр}$; $f_{тр}$ для труб разного диаметра приведены в таблице 2.

Диаметр	Площадь просвета $F_{тр} см^2$	Площадь сечения $f_{тр} см^2$
---------	-----------------------------------	----------------------------------

1 1/2" (40,3 мм)	12,8	5,8
5/8" (50,3 мм)	19,9	8,7
2 1/2" (62,0 мм)	30,2	11,7
3" (75,9 мм)	45,2	16,8
3 1/2" (88,6 мм)	61,6	19,5
4" (100,3 мм)	79,0	24,0
5" (130 мм)*	133,0	34,0

$$\psi = \frac{f_{mp}}{f_{mp} + f_{um}} \quad (3.11)$$

При расчёте ступенчатой колонны вместо f_{um} нужно брать f_{cp} , определяемый по формуле:

$$f_{cp} = \frac{1}{\frac{\varepsilon_1}{(f_{um})_1} + \frac{\varepsilon_2}{(f_{um})_2} + \dots + \frac{\varepsilon_z}{(f_{um})_z}} \quad (3.12)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_z$ - доля каждой ступени, из которых состоит колонна;

$(f_{um})_1, (f_{um})_2, \dots, (f_{um})_z$ - площади сечений штанг соответствующих ступеней;

z - количество ступеней в колонне штанг.

Справочные данные для разных штанг разного диаметра приведены в таблице 3.

Таблица 3

Диаметр штанг	Вес 1 пог. м, кг			Площадь сечения штанги, см ²
	в воздухе	в жидкости, уд. вес 1	в жидкости, уд. вес 0,9	
5/8" (16 мм)	1,76	1,54	1,56	2,01
3/4" (19 мм)	2,38	2,08	2,11	2,83
7/8" (22 мм)	3,19	2,78	2,83	3,80
1" (25,4 мм)	4,10	3,58	3,63	5,10

Доля каждой ступени колоны вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^z m_i} \quad (3.13)$$

где m_i - количество штанг в i -ой ступени колонны штанг.

Рассчитав значения P_{\max}, P_{\min} по формуле А.С.Вирновского и принимая $S_{\max} = S_0, S_{\min} = 0$ нужно масштабировать графики изменения $P(t), S(t)$ (Рис.1) соответственно в новые значения по следующей общей формуле:

$$y_i = y_{\min} + (x_i - x_{\min}) \frac{y_{\max} - y_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3.14)$$

где, x_i, y_i - значения параметра в i -ой точке до и после масштабирования;

$x_{\max}, y_{\max}, x_{\min}, y_{\min}$ - максимальные и минимальные значения параметра до и после масштабирования.

Таким образом получаем динамограмму в единицах нагрузки на полированный шток ($кз$) и хода подвески штанг ($мм$), где отражаются значения важных параметров:

$$P'_{жс}, P'_{ум}, P_{жс}, P_{ум}, P_{\max}, P_{\min}.$$

Для реализации указанных выше формул составим алгоритм их вычисления и масштабирования полученных данных от скважины к физическим величинам нагрузки на полированный шток и хода подвески штанг. С этой целью проведем анализ параметров формул определения максимальной и минимальной нагрузки.

Анализ составляющих и параметров формул (3.1) и (3.2) показывает следующее:

- Значения $P_{ум}, P'_{ум}, P_{жс}$ зависят от параметров колонны штанг, изменение которых невозможно без остановки скважины;

- Значения $P'_{жс}$ зависят от динамического уровня жидкости (H), который может изменяться по ходу эксплуатации скважины в зависимости от режима откачки ($\frac{0}{100}$ заполнения насоса);

- Составляющие 3 и 4 формулы (3.1) и 2 и 3 формулы (3.2) зависят от числа качаний (n) в минуту станка качалки, который с применением современных станций РУ СШНУ часто может быть изменен для достижения стабилизации динамического уровня с целью выбора оптимального режима работы скважины. При этом возникает необходимость пересчета экстремальных нагрузок по изменению числа качаний станка качалки.

Учитывая то, что параметры H и n могут часто меняться, выражения (3.1) и (3.2) можно представить в следующем виде:

$$P_{\max} = q_{жс} \cdot H + P'_{шт} + n \cdot c_1 + n^2 \cdot c_2; \quad (3.1)'$$

$$P_{\min} = P'_{ум} - n \cdot c_3 + n^2 \cdot c_4; \quad (3.2)'$$

где $q_{жс} = F \cdot \gamma_{ж}$ - вес одного погонного метра жидкости над плунжером в $кз$,

$$c_1 = \frac{\pi}{90} \cdot \alpha_1 \cdot \frac{D}{d} \cdot \sqrt{\frac{S_0}{g}} \cdot \sqrt{a_1 \cdot \psi - \frac{\lambda}{S_0}} \cdot (P_{ум} + 0,3k \cdot P_{ж}); \quad (3.15)$$

$$c_2 = \frac{\pi}{1800} \cdot \alpha_1 \cdot \frac{S_0}{g} \cdot (a_1 - \frac{2\lambda}{\psi \cdot S_0}) \cdot (1 - \frac{\psi}{2}) \cdot P_{ум}; \quad (3.16)$$

$$c_3 = \frac{\pi}{90} \cdot \alpha_2 \cdot \frac{D}{d} \cdot \sqrt{\frac{S_0}{g}} \cdot \sqrt{a_2 \cdot \psi - \frac{\lambda}{S_0}} \cdot P_{ум}; \quad (3.17)$$

$$c_4 = \frac{\pi}{1800} \cdot \alpha_2^2 \cdot \frac{S_0}{g} \cdot \left(a_2 - \frac{2\lambda}{\psi \cdot S_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{\psi}{2}\right) \cdot P_{um}; \quad (3.18)$$

Отсюда следует, что рассчитав параметры $q_{ж}, P'_{um}, c_1, c_2, c_3, c_4$ один раз по изменению конструктивных данных оборудования скважины, можно с помощью формул (3.1') и (3.2') корректировать значения P_{max} и P_{min} по часто изменяемым параметрам H и n , не затрачивая времени на расчет величин, которые редко меняются.

Отметим также, что для многоступенчатой колонны штанг формулы (3.5) и (3.7) соответственно можно представить в следующем виде:

$$P'_{um} = L \cdot \sum_{i=1}^z q''_{umi} \cdot \varepsilon_i \quad (3.5')$$

$$P_{um} = L \cdot \sum_{i=1}^z q_{umi} \cdot \varepsilon_i \quad (3.7')$$

где, q''_{umi}, q_{umi} - вес одного погонного метра i -й штанги соответственно в жидкости и в воздухе.

Учитывая вышесказанное можно создать следующий алгоритм расчета экстремальных нагрузок на полированный шток и построения динамограмм в физических единицах усилия на полированный шток и хода подвески штанги в два этапа (рис.2).

1-й этап включает в себя блоки 1 и 2 и выполняется по признаку изменения, какого либо исходного параметра.

2-й этап включает в себя блоки 3, 4 и 5. Этот этап выполняется каждый раз по опросу динамограммы.

Блок 1. Ввод исходных данных: глубина спуска насоса $L(м)$, диаметр насоса $D(мм)$, плотность жидкости $\gamma_{ж} \left(\frac{кг}{м^3}\right)$, диаметр трубы $d_{тр}(мм)$, длина хода полированного штока $S_0(мм)$, динамический уровень до устья скважины $H(м)$, количество ступеней колонны штанг z число штанг m_i и их диаметры $d_i(мм)$.

Блок 2.

Шаг 1. По диаметру насоса определяется площадь сечения плунжера $F = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$;

Шаг 2. По данным плотности $\gamma_{ж}$, глубине стояния динамического уровня H и глубине спуска насоса L по формулам (3.3) и (3.4) вычисляются значения $P'_{ж}$ и $P_{ж}$;

Шаг 3. По количеству ступеней z и числам штанг m_i в каждой ступени i вычисляется доля каждой ступени ε_i в колонне штанг по формулам (3.13);

Шаг 4. По диаметрам штанг d_i из таблицы 3 берутся соответствующие значения $q''_{umi}, q_{umi}, f_{umi}$ и по формулам (3.5'), (3.7') вычисляются вес колонны штанг в жидкости P'_{um} , в воздухе P_{um} и вычисляется среднее значение площади колонны штанг f_{cp} по формуле (3.12);

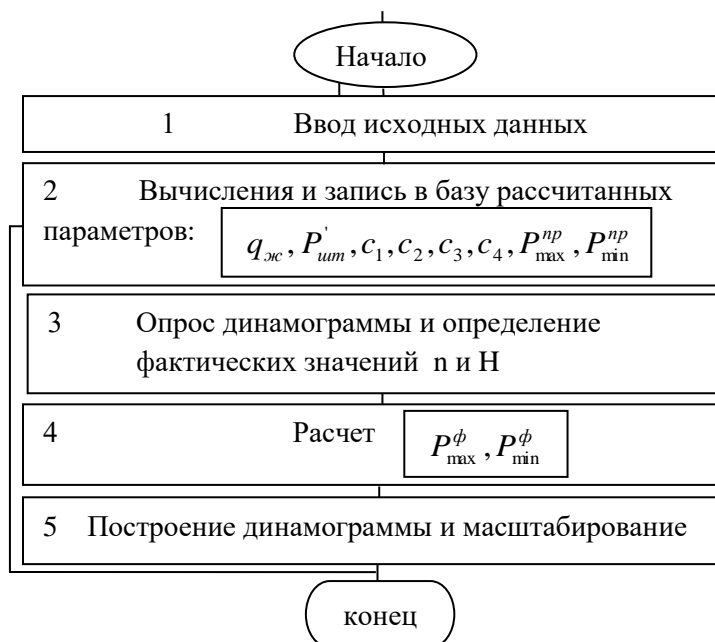


Рис.2. Алгоритм расчета экстремальных нагрузок на полированный шток и построение динамограмм в физических единицах усилия и хода

Шаг 5. По диаметру трубы $d_{уп}$ из таблицы 2 берутся площади просвета $F_{тр}$ и сечения тела $f_{мп}$ и принимая $f_{мп} = f_{ср}$ вычисляются коэффициенты λ, k, ψ соответственно по формулам (3.9), (3.10) и (3.11);

Шаг 6. По типу станка качалки и длине хода S_0 полированного штока из таблицы 1 берутся коэффициенты $\alpha_1, \alpha_2, a_1, a_2$ А.С.Вирновского и вычисляются c_1, c_2, c_3, c_4 согласно формулам (3.15), (3.16), (3.17), (3.18). При этом ускорение силы тяжести принимается $9,8 \frac{м}{сек^2}$.

Шаг 7. По предварительно заданным данным H и n по формулам (3.1') и (3.2') вычисляются значения $P_{max}^{np}, P_{min}^{np}$. Коэффициенты c_1, c_2, c_3, c_4 и данные $P_{max}^{np}, P_{min}^{np}$ заносятся в память предварительно рассчитанных данных, которые далее используются в блоке 4 для расчета фактических значений $P_{max}^{\phi}, P_{min}^{\phi}$ по результатам анализа динамограмм.

Блок 3. Этот блок начинает работать по получению динамометрической информации от скважины. По динамограмме определяются фактические значения H^{ϕ} и n^{ϕ} .

Блок 4. Рассчитываются фактические значения $P_{max}^{\phi}, P_{min}^{\phi}$ по тем же формулам (3.1') и (3.2') с поставкой значений H^{ϕ} и n^{ϕ} .

Блок 5. Осуществляется масштабирование массива полученных данных графиков изменения, $P(t)$ и $S(t)$ рисунка 1 в соответствующие новые масштабы $P^m(t)$ и $S^m(t)$:

$$P_i^m = P_{min}^{\phi} + (P_i - P_{min}) \frac{P_{max}^{\phi} - P_{min}^{\phi}}{P_{max} - P_{min}} P_{min}^{\phi};$$

$$S_i^M = S_{min}^\phi + (S_i - S_{min}) \frac{S_{max}^\phi - S_{min}^\phi}{S_{max} - S_{min}};$$

По полученным масштабированным данным строятся графики $P^M(t)$, $S^M(t)$ и динамограмма $P^M(S^M)$.

Пример: Блок 1. Вычислить экстремальные нагрузки на полированный шток и построить динамограмму в физических единицах усилия ($кз$) и хода ($м$) скважины № 315 Ширван ОС с динамограммой, приведенной на рис.1 и со следующими исходными данными:

$$L = 1598м; D = 43мм; \gamma_{ж} = 900 \frac{кз}{м^3}; d_{mp} = 62мм; S_0 = 1,8м; H = 1530м;$$

$$m_1 = 80; m_2 = 117; n = 5; d_1 = \left(\frac{7}{8}\right) = 22мм; d_2 = \left(\frac{3}{4}\right) = 19мм;$$

тип станка качалки – СКН10-2115.

Решение: Блок 2.

Шаг 1. По диаметру насоса $D = 43мм$ определяем площадь сечения плунжера:

$$F = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0.043^2}{4} = 0.001451465 м^2;$$

Шаг 2. По данным плотности $\gamma_{ж} = 900 \frac{кз}{м^3}$, глубине состояния динамического уровня $H = 1530 м$, глубине спуска насоса $L = 1598 м$, вычисляем значения $P'_{жс}$ и $P_{жс}$:

$$P'_{жс} = F \cdot \gamma_{жс} \cdot H = 0,0014514 м^2 \cdot 900 \frac{кз}{м^3} \cdot 1530 м = 1999 кз;$$

$$P_{жс} = F \cdot \gamma_{жс} \cdot L = 0,001451465 м^2 \cdot 900 \frac{кз}{м^3} \cdot 1598 м = 2088 кз;$$

Шаг 3. По количеству ступеней $z = 2$ и числам штанг $m_1 = 80; m_2 = 117$ определяем ε_1 и ε_2 :

$$\varepsilon_1 = \frac{80}{80+117} = 0,406; \varepsilon_2 = \frac{117}{80+117} = 0,594;$$

Шаг 4. По диаметрам штанг $d_1 = \left(\frac{7}{8}\right) = 22мм; d_2 = \left(\frac{3}{4}\right) = 19мм$ из таблицы 3 берем

соответствующие значения

$$q''_{ум1} = 2,83; q''_{ум2} = 2,11; q_{ум1} = 3,19; q_{ум2} = 2,38; f_{ум1} = 3,8; f_{ум2} = 2,83,$$

тогда:

$$P'_{ум} = 1598 \cdot (2,83 \cdot 0,406 + 2,11 \cdot 0,594) = 3839 кз;$$

$$P_{ум} = 1598 \cdot (3,19 \cdot 0,406 + 2,38 \cdot 0,594) = 4328 кз;$$

$$f_{умср} = \frac{1}{\frac{0,406}{3,8} + \frac{0,594}{2,83}} = 3,16 \text{ см}^2;$$

Шаг 5. По диаметру трубы $d_{mp} = 62 \text{ мм}$ из таблицы 2 берутся площади просвета $F_{mp} = 30,2 \text{ мм}^2$ и сечения тела $f_{mp} = 11,7 \text{ мм}^2$ и принимая $f_{ум} = f_{mp}$ вычисляем коэффициенты λ, k, ψ :

$$\lambda = \frac{P_{ж} \cdot L}{E \cdot f_{умср}} = \frac{1999 \text{ кг} \cdot 1598 \text{ м}}{2100000 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \cdot 3,16 \text{ см}^2} = 0,481 \text{ м};$$

$$k = \frac{F - f_{умср}}{F_{ум} - f_{умср}} = \frac{14,51465 - 3,16}{30,2 - 3,16} = \frac{11,36465}{27,04} = 0,42;$$

$$\psi = \frac{f_{mp}}{f_{mp} + f_{умср}} = \frac{11,7}{11,7 + 3,16} = 0,7873.$$

Шаг 6. Для станка качалки – СКН10-2115 по длине хода $S_0 = 1,8 \text{ м}$ из таблицы 1 берем коэффициенты $\alpha_1 = 1,10; \alpha_2 = 0,86; a_1 = 0,91; a_2 = 1,19$.

Тогда

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{\pi}{90} \cdot \alpha_1 \cdot \frac{D}{d} \cdot \sqrt{\frac{S_0}{g}} \cdot \sqrt{a_1 \cdot \psi - \frac{\lambda}{S_0}} \cdot (P_{ум} + 0,3k \cdot P_{ж}) = \\ &= \frac{3,14}{90} \cdot 1,10 \cdot \frac{43}{22} \cdot \sqrt{\frac{1,8}{9,8}} \cdot \sqrt{0,91 \cdot 0,7873 - \frac{0,481}{1,8}} \cdot (4328 + 0,3 \cdot 0,42 \cdot 2088) = \\ &= 0,075 \cdot 0,42857 \cdot 0,67024 \cdot 4591 = 98,9; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_2 &= \frac{\pi}{1800} \cdot \alpha_1 \cdot \frac{S_0}{g} \cdot \left(a_1 - \frac{2\lambda}{\psi \cdot S_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{\psi}{2}\right) \cdot P_{ум} = \\ &= \frac{3,14}{1800} \cdot 1,10 \cdot \frac{1,8}{9,8} \cdot \left(0,91 - \frac{2 \cdot 0,481}{0,7873 \cdot 1,8}\right) \cdot \left(1 - \frac{0,7873}{2}\right) \cdot 4328 = \\ &= 0,0003524 \cdot 0,2311 \cdot 0,6063 \cdot 4328 = 0,2137; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_3 &= \frac{\pi}{90} \cdot \alpha_2 \cdot \frac{D}{d} \cdot \sqrt{\frac{S_0}{g}} \cdot \sqrt{a_2 \cdot \psi - \frac{\lambda}{S_0}} \cdot P_{ум} = \\ &= \frac{3,14}{90} \cdot 0,86 \cdot \frac{43}{22} \cdot \sqrt{\frac{1,8}{9,8}} \cdot \sqrt{1,19 \cdot 0,7873 - \frac{0,481}{1,8}} \cdot 4328 = \\ &= 0,5864 \cdot 0,42857 \cdot 0,6696 \cdot 4328 = 72,83; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_4 &= \frac{\pi}{1800} \cdot \alpha_2^2 \cdot \frac{S_0}{g} \cdot \left(a_2 - \frac{2\lambda}{\psi \cdot S_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{\psi}{2}\right) \cdot P_{um} = \\
 &= \frac{3,14}{1800} \cdot (0,86^2) \cdot \frac{1,8}{9,8} \cdot \left(1,19 - \frac{2 \cdot 0,481}{0,7873 \cdot 1,8}\right) \cdot \left(1 - \frac{0,7873}{2}\right) \cdot 4328 = \\
 &= 0,0002154 \cdot 0,6082 \cdot 0,60915 \cdot 4328 = 0,3454 ;
 \end{aligned}$$

Шаг 7. По предварительно заданным данным $H = 1530$ и $n = 5$ учитывая, что $q_{жс} = F \cdot \gamma_{жс} = 0,001451465 \cdot M^2 \cdot 900 \frac{K\mathcal{Z}}{M^3} = 1,30635 \frac{K\mathcal{Z}}{M}$ вычисляем значения $P_{max}^{np}, P_{min}^{np}$:

$$\begin{aligned}
 P_{max}^{np} &= q_{жс} \cdot H + P'_{шт} + n \cdot c_1 + n^2 \cdot c_2 = \\
 &= 1,30635 \cdot H + 3889 + n \cdot 98,9 + n^2 \cdot 0,2137 = \\
 &= 1,30635 \cdot 1530 + 3839 + 98,9 \cdot 5 + 0,2137 \cdot 25 = 6337 \text{к}\mathcal{Z}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{min}^{np} &= P'_{um} - n \cdot c_3 + n^2 \cdot c_4 = \\
 &= 3839 - n \cdot 72,83 + n^2 \cdot 0,3454 = \\
 &= 3839 - 72,83 \cdot 5 + 0,3454 \cdot 25 = 3483 \text{к}\mathcal{Z} ;
 \end{aligned}$$

Блок 3. Из динамограммы, полученной от скважины № 315, Ширван ОС берем фактические данные $n^\phi = 4,46; H^\phi = 1550 \text{м}$.

Блок 4. Рассчитываем фактические значения $P_{max}^\phi, P_{min}^\phi$ аналогично шагу 7 блока 2.

$$\begin{aligned}
 P_{max}^\phi &= 1,30635 \cdot H^\phi + 3889 + n^\phi \cdot 98,9 + (n^\phi)^2 \cdot 0,2137 = \\
 &= 1,30635 \cdot 1550 + 3839 + 98,9 \cdot 4,46 + 0,2137 \cdot 4,46^2 = 6039 \text{к}\mathcal{Z} ;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{min}^\phi &= 3839 - n^\phi \cdot 72,83 + (n^\phi)^2 \cdot 0,3454 = \\
 &= 3839 - 324,8 + 6,8 = 3521 \text{к}\mathcal{Z} .
 \end{aligned}$$

Блок 5. Учитывая ранее рассчитанные фактические нагрузки на полированный шток $P_{max}^\phi = 6039 \text{к}\mathcal{Z}, P_{min}^\phi = 3521 \text{к}\mathcal{Z}$ и заданный ход полированного штока $S_{max}^\phi = 1800 \text{мм}, S_{min}^\phi = 0$ и определив $P_{max} = 3437 \text{Г}\mathcal{ц}, P_{min} = 3321 \text{Г}\mathcal{ц}, S_{max} = 1856 \text{Г}\mathcal{ц}, S_{min} = 1776 \text{Г}\mathcal{ц}$ из рисунка 1 по указанным формулам блока 5 алгоритма (рисунок 2) осуществляем масштабирование массивов данных графиков $P(t)$ и $S(t)$ в массивы данных $P^M(t)$ и $S^M(t)$ и строим график $P^M(S^M)$. Полученные масштабированные графики $P^M(t)$ и $S^M(t)$ $P^M(S^M)$ приведены на рис.3.

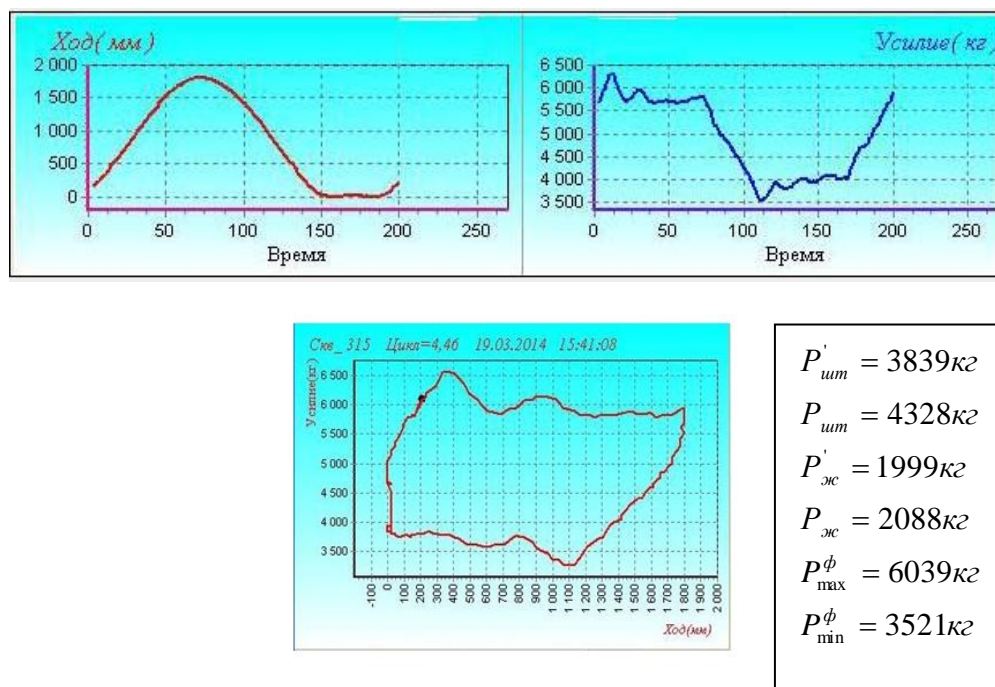


Рис.3 График изменения хода $S(t)$, усилия $P(t)$ и динамограмма скважины №315 Ширван ОС, построенная в единицах, кг и мм.

4. Выводы. Оперативное вычисление приближенных максимальных и минимальных нагрузок на полированный шток для каждой конкретной скважины по ее параметрам и масштабирование динамограммы по физическим величинам хода (мм) и усилия (кг) позволяет обслуживающему персоналу получить более достоверную и наглядную информацию о работе ШГН.

Зависимость приближенных максимальных и минимальных нагрузок на полированный шток от количества циклов насоса за минуту показывает, что при больших изменениях цикла качания возникает необходимость заново балансировать станка качалки. Это особенно важно для случаев применения частотных преобразователей для изменения цикла работы насоса.

Литература

1. Андреев В.В., Уразаков К.Р., Далимов В.У. и др. Справочник по добыче нефти. / Под ред. Уразакова К.Р. –М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000, 374 С.: ил.
2. М.Муравьев. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин. М, Недра, 1987 г, с.445.
3. Алиев Т.М., Тер-Хачатуров А.А. Автоматический контроль и диагностика СШНУ. М.: Недра, 1988. – 232 С.
4. Мамедов Ф. И., Дадашева Р. Б. Двухмерные электромагнитные датчики перемещений// Известия высших учебных заведений. Приборостроение. — Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2005. — Т. 48. — № 5. — С. 38-41.
5. ЗАО "Автограф" auton@autograph.com.ru; <http://www.auton.ru>
6. Жук Е., Шимчак П. Система Lufkin Automation контролирует работу скважин в Беларуси. Нефть и газ Евразия.- 2006.- № 8. С.: 16-27.
7. Ковшов В.Д., Емец С.В., Хакимьянов М.И., Светлакова С.В. Датчики усилия для систем динамометрирования штанговых глубинных насосов добычи нефти. Электронный научный

журнал «Нефтегазовое дело». Уфа, 2007 г.

8. ООО НПП«грант». Система динамометрирования. Стационарная ддс-04. Руководство по эксплуатации. Ддс04.00.00.00.000 рэ. Уфа 2006 .. Autex.spb.ru/pdf/grant-dds-04.p...
9. Ас.Г. Рзаев. Интеллектуальный межтраверсный датчик усилия. // Известия НАНА, серия физико-технических и математических наук, том XXXII, №3, 2012, с. 158-164.
10. А.С. Вирновский, Теория и практика глубиннонасосной добычи нефти. Избранные труды. Издательство «Недра» М.-1971.

UOT 004.021:004.3:004.4

Q.A. Quluyev, As.H. Rzayev, F.H. Paşayev, M.H. Rezvan. Kombinasiya üsulu ilə ştanqli dərinlik nasosunun paradaqlanmış ştokuna düşən qüvvənin təyini alqoritmi.

Məqalədə Azərbaycan Respublikasının neft mədənlərində istismar olunan DUI və DÇLP çeviricilərinin ştanqli dərinlik nasoslarının paradaqlanmış ştokuna düşən qüvvənin mütləq qiymətini verə bilməməsi göstərilmişdir. Bunu aradan qaldırmaq üçün, hər bir quyunun nasosunun işləmə dövründən asılı olaraq, paradaqlanmış ştoka düşən yükün maksimal və minimal qiymətlərinin təqribi hesablanması və çeviricilərin çıxış parametrlərinin onların əsasında miqyaslanması alqoritmi təklif olunur.

Açar sözlər: neftçıxarma, quyu, ştanqli dərinlik nasosu, dinamogram, gediş, qüvvə

G.A. Guluyev, As.H. Rzayev, F.H. Pashayev, M.H. Rezvan. Algorithm for determining the force on the polished rod of sucker rod pumps by combined method.

The authors demonstrate that IFS and FLDT force sensors used at the oil fields of the Azerbaijan Republic do not allow for estimating the absolute load on the polished rod of sucker rod pumps. An algorithmic method is proposed for prompt calculation of approximate maximum and minimum force on the polished rod for each well depending on the operation cycle of the pump and scaling of the output parameters of the sensors based on the calculated loads.

Keywords: oil extraction, well, sucker rod pump, dynamometer card, stroke, force

Институт кибернетики НАНА

Представлено 23.05.14