

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ОБЪЕМА ФЛЮИДА, ДОБЫВАЕМОГО ШТАНГОВЫМ ГЛУБИННЫМ НАСОСОМ, ОТ ЧАСТОТЫ ТОКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В. С. Горбаченко

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научные руководители: Л. Д. Корсун, А. В. Минаков

Добыча нефти с использованием штанговых насосов является одним из самых распространенных способов искусственного подъема нефти, что объясняется их простотой, эффективностью и надежностью. Как минимум две трети фонда действующих добывающих скважин эксплуатируются установками штанговых глубинных насосов (ШГН) [1].

Перед другими механизированными способами добычи нефти установки ШГН имеют следующие преимущества:

- обладают относительно высоким коэффициентом полезного действия;
- проведение ремонта возможно непосредственно на промыслах;
- установки ШГН могут применяться в осложненных условиях эксплуатации.

Простейший ШГН состоит из плунжера, движущегося вверх-вниз по хорошо подогнанному цилиндру. Плунжер снабжен обратным клапаном, который позволяет жидкости течь вверх. Второй клапан, всасывающий, расположенный внизу цилиндра, также позволяет жидкости течь вверх.

Частота вращения магнитного поля [2], создаваемого трехфазной обмоткой статора асинхронного электродвигателя, n_0 зависит от частоты сети f и числа пар полюсов магнитного поля p :

$$n_0 = \frac{60 f}{p}. \quad (1)$$

Однако в режиме двигателя ротор будет вращаться несинхронно. Частота вращения ротора будет изменяться при изменении нагрузки на валу. В отличие от частоты вращения ротора частота вращения магнитного поля не зависит от нагрузки. Для сравнения частоты вращения магнитного поля n_0 и ротора n' вводится коэффициент, который называется скольжением и обозначается буквой s :

$$s = \frac{n_0 - n'}{n_0}. \quad (2)$$

Из формул (1) и (2) получим:

$$n' = (1 - s)n_0 = (1 - s)\frac{60 f}{p}. \quad (3)$$

Электродвигатель передает крутящий момент редуктору, который преобразует его. Таким образом, полученная частота вращения на выходе из редуктора будет иметь следующее значение:

$$n_{\text{вых.ред}} = \frac{n'}{u},$$

где $n_{\text{вых.ред}}$ – частота вращения на выходе из редуктора, об/с; u – передаточное отношение редуктора.

На рис. 1 представлены положения головки балансира в самом верхнем и нижнем своем расположении соответственно. Откуда следует, что отрезок, ограниченный точкой соединения шатуна с противовесом (точка A) и ведомым валом редуктора (точка B), описывает окружность с центром в точке B .

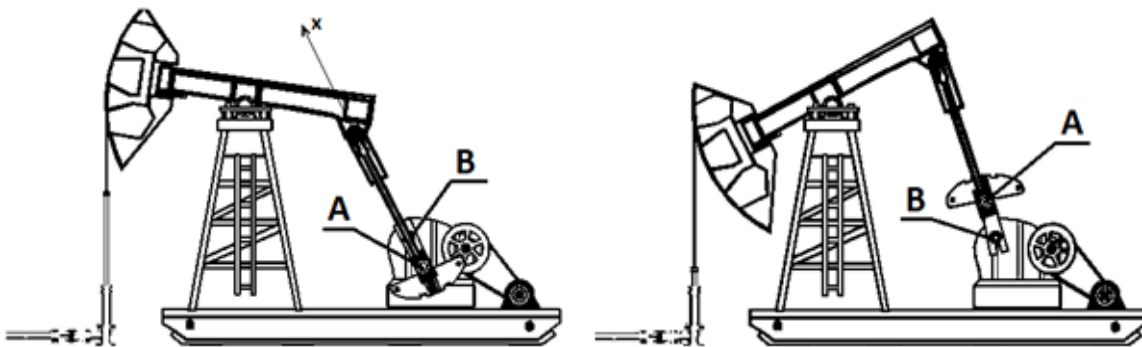


Рис. 1. Положение головки балансира в верхнем и нижнем положении соответственно

Следовательно, максимальное отклонение конца балансира (место соединения балансира с шатуном) вдоль оси X , равно двум отрезкам AB .

Количество спусков и подъемов противовеса за одну минуту $n_{\text{бал}}$ равно:

$$n_{\text{бал}} = \frac{60}{T_{\text{бал}}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{бал}}$ – время, за которое балансир производит два полных колебания, с.

Два полных колебания балансиrom будет произведено тогда, когда точка A отрезка AB опишет две полных окружности относительно точки B . Таким образом, время $T_{\text{бал}}$ можно определить по формуле

$$T_{\text{бал}} = \frac{u}{n'} + \frac{u}{n'} = \frac{2u}{n'}. \quad (5)$$

Производительность насоса зависит от пригонки плунжера к цилиндру, износа деталей насоса, деформации насосных штанг и труб, негерметичности труб.

Теоретическая производительность ШГН равна [3]:

$$Q_m = 1440 \frac{\pi}{4} D^2 L n, \quad (6)$$

где 1440 – число минут в сутках; D – наружный диаметр плунжера, м; L – длина хода плунжера, м; n – число двойных качаний в минуту.

Фактическая подача Q всегда меньше теоретической Q_t . Отношение

$$\alpha = \frac{Q}{Q_t} \quad (7)$$

называется коэффициентом подачи и изменяется от 0 до 1. В скважинах, в которых проявляется так называемый фонтанный эффект, т. е. в частично фонтанирующих через насос скважинах, коэффициент α может быть равен 1. Коэффициент подачи зависит от ряда факторов, которые учитываются с помощью различных коэффициентов:

$$\alpha = \alpha_d \alpha_{yc} \alpha_n \alpha_{yt}, \quad (8)$$

где в соответствующих коэффициентах учитываются: α_d – деформация штанг и труб; α_{yc} – усадка жидкости; α_n – степень наполнения насоса жидкостью; α_{yt} – утечка жидкости.

Коэффициент α_d , учитывающий деформацию штанг и труб, рассчитывается по следующей формуле:

$$\alpha_d = \frac{S_{пл}}{S},$$

где $S_{пл}$ – длина хода плунжера (определяется из условий учета упругих деформаций штанг и труб), м; S – длина хода устьевого штока (задается при проектировании), м:

$$S_{\text{пл}} = S - \Delta S;$$

$$\Delta S = \Delta S_{\text{шт}} + \Delta S_{\text{т}},$$

где ΔS – деформация общая, м; $\Delta S_{\text{шт}}$ – деформация штанг; $\Delta S_{\text{т}}$ – деформация труб.

Коэффициент α_{yc} , учитывающий усадку жидкости:

$$\alpha_{\text{yc}} = \frac{1}{b},$$

где b – объемный коэффициент жидкости, равный отношению объемов (расходов) жидкости при условиях всасывания и поверхностных условиях.

Коэффициент $\alpha_{\text{н}}$, учитывающий степень наполнения насоса жидкостью:

$$\alpha_{\text{н}} = \frac{1 - K_{\text{вр}} R'}{1 - R'},$$

где R' – газовое число, Дж/моль · К; $K_{\text{вр}}$ – коэффициент, характеризующий долю пространства, т. е. объема цилиндра под плунжером, при его крайнем нижнем положении от объема цилиндра, описываемого плунжером.

Коэффициент утечек:

$$\alpha_{\text{ут}} = 1 - \frac{g_{\text{ут}}}{Q \alpha_{\text{п}} \alpha_{\text{yc}} \alpha_{\text{н}}},$$

где $g_{\text{ут}}$ – расход утечек жидкости (в плунжерной паре, клапанах, муфтах НКТ), м³/сут. Коэффициент $\alpha_{\text{ут}}$ – величина переменная (в отличие от других факторов), возрастающая с течением времени, что приводит к изменению коэффициента подачи.

Учитывая формулы (6)–(8), получим:

$$Q = 1440 \frac{\pi}{4} D^2 L n \alpha_{\text{д}} \alpha_{\text{yc}} \alpha_{\text{н}} \alpha_{\text{ут}}. \quad (9)$$

Так как балансир является однородным и нерастяжимым, то

$$n = n_{\text{бал}}. \quad (10)$$

Подставляя в (10) формулы (4), (5) и (9), придем к соотношению

$$\frac{4Q}{1440\pi D^2 L \alpha_{\text{д}} \alpha_{\text{yc}} \alpha_{\text{н}} \alpha_{\text{ут}}} = \frac{30n'}{u}. \quad (11)$$

Подставляя формулу (3) в (11):

$$\frac{4Q}{1440\pi D^2 L \alpha_{\text{д}} \alpha_{\text{yc}} \alpha_{\text{н}} \alpha_{\text{ут}}} = \frac{30}{u} (1-s) \frac{60f}{p}. \quad (12)$$

Преобразуя (12), получаем зависимость дебита, добываемого установкой ШГН флюида от частоты электрического тока, подводящего к электродвигателю:

$$Q = \frac{60 \cdot 30 \cdot 1440 \pi D^2 L \alpha_d \alpha_{yc} \alpha_n \alpha_{yt} (1-s)}{4\mu p} f. \quad (13)$$

При замене некоторых параметров стандартными значениями, что облегчит работу персоналу, контролирующему ту или иную скважину, формула (13) примет вид:

$$Q = \frac{556699 D^2 L (1-s)}{\mu p} f.$$

Таким образом, подавая определенные сигналы из места, контролирующего добычу флюида, частотному преобразователю, расположенному вблизи установки, можно управлять процессом работы установки ШГН.

Л и т е р а т у р а

1. Молчанов, А. Г. Нефтепромысловые машины и механизмы / А. Г. Молчанов, Л. Г. Чичеров. – М. : Недра, 1976. – 328 с.
2. Архипцев, Ю. Ф. Асинхронные электродвигатели / Ю. Ф. Архипцев, Н. Ф. Котеленец. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 104 с.
3. Теория и практика добычи нефти : справоч. изд. / Ф. Ю. Алдакимов [и др.] ; под ред. С. Н. Матвеева ; ОАО «Сургутнефтегаз». – Сургут : Нефть Приобья, 2008. – 416 с. : 116 ил.