



УДК 622.276

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РОТОРНО-УСТЬЕВОЙ СИСТЕМЫ УРАВНОВЕШИВАНИЯ СТАНКА-КАЧАЛКИ

METHODOLOGY FOR CALCULATING ROTARY-WELLHEAD COUNTERBALANCING OF PUMPING UNIT

Уразаков Камил Рахматуллович

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры машины и оборудование
нефтегазовых промыслов,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
urazakk@mail.ru

Журавлев Денис Вячеславович

генеральный директор,
ООО «СамараНИПИнефть»
ZhuravlevDVs@gmail.com

Давлетшин Филюс Фанизович

магистрант,
Башкирский государственный университет,
Физико-технический институт
Felix8047@mail.ru

Аннотация. Значительная часть добывающих скважин, эксплуатируемых установками скважинных штанговых насосов, оборудована балансирными станками-качалками. Существующие технологии уравнивания станков-качалок обуславливают значительный усталостный износ узлов наземного оборудования вследствие высоких нагрузок на привод. В работе представлена методика расчета комбинированной роторно-устьевой системы уравнивания, позволяющей значительно уменьшить нагрузки, действующие на привод станка-качалки. Рассмотрено влияние условий работы скважинного оборудования на расчетную величину веса устьевого противовеса, удовлетворяющего критерию минимизации нагрузок на узлы станка-качалки.

Ключевые слова: станок-качалка, уравнивание, устьевой контргруз, скважинный штанговый насос, динамическая нагрузка.

Urazakov Kamil Rakhmatullovich

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of the chair «Machines and equip-
ment of oil and gas fields»,
Ufa State Petroleum Technological University
urazakk@mail.ru

Zhuravlev Denis Vyacheslavovich

General Manager,
LLC «SamaraNIPIneft»
ZhuravlevDVs@gmail.com

Davletshin Filyus Fanizovich

Undergraduate,
Bashkir State University,
Institute of Physics and Technology
Felix8047@mail.ru

Annotation. Significant parts of the production wells operated by sucker rod pumping units are equipped with walking-beam pumping unit. Existing technologies for balancing pumpjack cause considerable fatigue wear of ground equipment components due to high loads on the drive. The paper presents a methodology for calculating the combined rotary-wellhead counterbalancing system, which allows to significantly reduce the loads acting on the drive of the pumpjack. The influence of operating conditions of downhole equipment on the estimated weight of a wellhead counterweight meeting the criterion of minimizing loads on the walking-beam pumping units is considered.

Keywords: -beam pumping unit, balancing, wellhead load, sucker rod pump, dynamic load.

Из различных видов приводов скважинных штанговых насосов (СШН) наибольшее распространение получили балансирные приводы с механической трансмиссией – станки-качалки (СК). Уравнивание балансирных СК производится в основном механическим способом, т.е. специальными противовесами (контргрузами). Существующие технологии уравнивания станков-качалок обуславливают значительный усталостный износ узлов наземного оборудования вследствие высоких нагрузок на привод СК. Это приводит к преждевременным отказам и росту потребляемой электроэнергии.

Перечисленные факты обуславливают необходимость поиска новых методов уравнивания станков-качалок, среди которых можно выделить системы с комбинированным роторно-устьевым уравниванием. Дополнительное уравнивание СК в таких системах достигается применением устьевого контргруза, обеспечивающего направленную вертикально вверх силу, обусловленную его весом, и приложенную через гибкую тягу непосредственно к устьевому штоку. Установка устьевого противовеса позволяет компенсировать часть постоянной нагрузки в точке подвеса штанговой колонны, обусловленной весом штанг в жидкости, а значит уменьшить нагрузку на головку балансира, его опору, и тем самым предотвратить износ узлов СК [1, 2].



Методика расчета комбинированной роторно-устьевой системы включает в себя:

- Определение веса устьевого контргруза, позволяющего минимизировать нагрузку на привод СК при сохранении устойчивой работы станка-качалки;
- Расчет радиуса расположения на кривошипе роторных противовесов с учетом полученного веса устьевого контргруза исходя из критерия минимизации затрачиваемой на подъем скважинной продукции энергии, достигаемой равномерной загруженностью приводного двигателя СК за цикл качания.

Кинематическая схема эксплуатации скважины с дополнительным устьевым уравновешиванием представлена на рисунке 1.

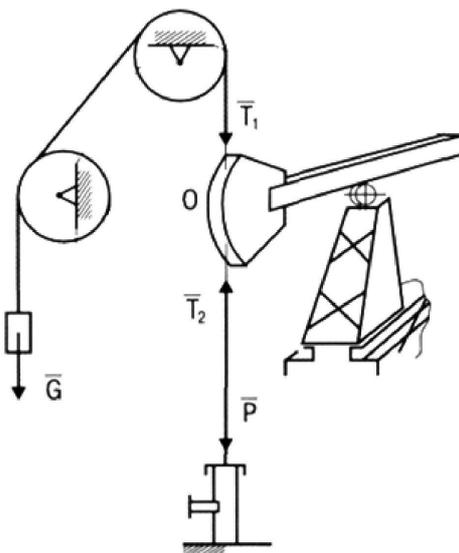


Рисунок 1 – Кинематическая схема СК с уравновешивающим грузом

Для нормальной эксплуатации скважины, исходя из конструктивных особенностей, необходимо соблюдение условия :

$$T_2 > T_1 > 0, \tag{1}$$

где T_1, T_2 – усилия в точке крепления к головке балансира устьевого контргруза и штанговой колонны соответственно.

Данное условие определяет устойчивое состояние балансира относительно опоры и отсутствие провисания гибкой нити. Усилия в точке крепления к головке балансира штанговой колонны и устьевого контргруза с учетом инерционных свойств определяются как [3]:

$$\begin{cases} T_1(t) = G + G_{ин} = G(1 - \frac{Sn^2}{2g} \cos 2\pi nt) \\ T_2(t) = P_{шт} + F_{пл}(p_{вык} - p_n) + P_{ер} + P_{\mu} + P_{ин} + P_{вibr} \end{cases}, \tag{2}$$

где $G_{ин}$ – сила инерции, действующая на устьевой груз, G – вес контргруза, S – длина хода полированного штока, n – число качаний головки балансира в минуту, g – ускорение свободного падения, $P_{шт}$ – вес колонны штанг в жидкости, $F_{пл}$ – площадь поперечного сечения плунжера, $p_{вык}$ – давление на выкиде насоса, p_n – давление в подплунжерной полости насоса, $P_{ер}$ – сила граничного трения штанг о стенки НКТ, P_{μ} – сила вязкого трения штанг, $P_{ин}$ – инерционная нагрузка, $P_{вibr}$ – вибрационная нагрузка.

Решение системы (2) совместно с неравенством (1) позволяет определить вес устьевого контргруза, причем из (2) следует, что на расчетный вес устьевого противовеса существенное влияние оказывают условия работы скважинного оборудования – вязкость откачиваемой продукции, определяющая нагрузку гидродинамического трения; кривизна ствола скважины, определяющая силу граничного трения; скорость откачки, от которой зависят динамические составляющие нагрузок, и др. Для примера на рисунке 2 приведен расчет устьевого противовеса при высокой вязкости откачиваемой продук-



ции (по линии минимальной нагрузки от веса колонны штанг в точке подвеса). Из графиков на рисунке следует, что при прочих равных условиях с увеличением вязкости происходит снижение минимальной нагрузки, что приводит к уменьшению веса контргруза.

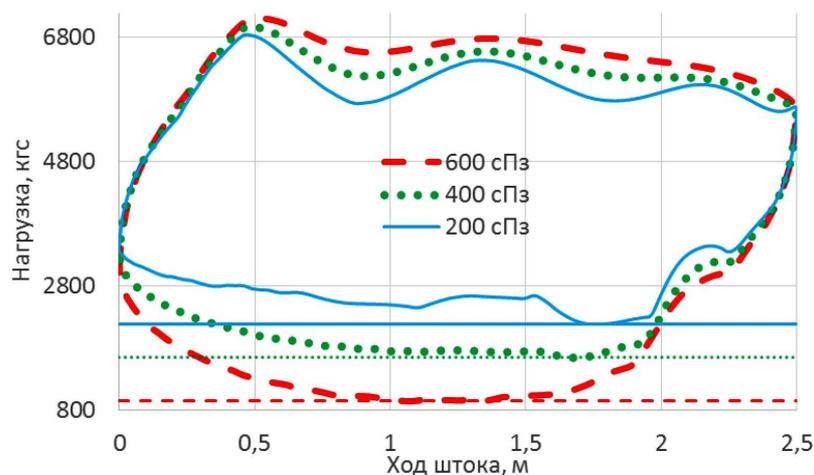


Рисунок 2 – Расчет веса устьевого контргруза при высокой вязкости откачиваемой продукции

Радиус расположения на кривошипе роторных противовесов определяется исходя из критерия максимизации равномерности загрузки приводного двигателя, а именно равенства работ, совершаемой двигателем на результирующее перемещение колонны штанг, устьевого контргруза, кривошипных противовесов и подъем скважинной продукции, при ходе головки балансира вверх и вниз [4].

Работа, совершаемая приводным двигателем СК при ходе головки балансира вверх:

$$A_1 = \int_0^S (T_2 - T_1) ds - 2G_p R - A_0, \tag{3}$$

где G_p – суммарный вес роторных противовесов, A_0 – работа сил тяжести неуравновешенных частей СК, R – радиус расположения кривошипных грузов.

Соответственно работа, совершаемая приводным двигателем СК при ходе головки балансира вниз:

$$A_2 = \int_S^0 (T_2 - T_1) ds + 2G_p R + A_0. \tag{4}$$

Приравнявая выражения (3) и (4), решаем это равенство относительно радиуса R , изменением которого регулируется энергоёмкость роторных противовесов.

Таким образом, разработана методика расчета комбинированной роторно-устьевого системы уравновешивания, позволяющая минимизировать нагрузку на привод станка-качалки, а также способствующая снижению энергозатрат на добычу нефти за счет обеспечения равномерной загрузки приводного двигателя за цикл качания.

Литература:

1. Ивановский В.Н. Скважинные насосные установки для добычи нефти / В.Н. Ивановский, В.И. Дарищев, А.А. Сабиров и др. – М. : ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, 2002. – 824 с.
2. Уразаков К.Р. Механизованная добыча нефти (Сборник изобретений). – Уфа : Изд-во «Нефтегазовое дело», 2010. – 329 с.
3. Бахтизин Р.Н. Динамическая модель штанговой насосной установки для скважин с направленным профилем ствола / Р.Н. Бахтизин, К.Р. Уразаков, С.Ф. Исмагилов, А.С. Топольников, Ф.Ф. Давлетшин // Socar Proceedings. – 2017. – № 4. – С. 74–82.
4. Гилаев Г.Г., Бахтизин Р.Н., Уразаков К.Р. Современные методы насосной добычи нефти. – Уфа : Восточная печать, 2016. – 410 с.

References:

1. Ivanovsky V.N. Downhole pumping installations for oil production / V.N. Ivanovsky, V.I. Darishchev, A.A. Sabirov et al. – М. : Federal State Unitary Enterprise Publishing House «Neft i gaz» Gubkin Russian State University of Oil and Gas. – 2002. – 824 p.



2. Urazakov K.R. Mechanized oil production (Collection of Inventions). – Ufa : Publishing house «Neftegazovoe delo», 2010. – 329 p.
3. Bakhtizin R.N. Dynamic model of a Rod Pump Installation for inclined wells / R.N. Bakhtizin, K.R. Urazakov, S.F. Ismagilov, A.S. Topolnikov, F.F. Davletshin // Socar Proceedings. – 2017. – № 4. – P. 74–82.
4. Gilayev G.G., Bakhtizin R.N., Urazakov K.R. Modern methods of pumping oil production. – Ufa : Publishing house «Vostochnaya pechat», 2016. – 410 p.