

Определение основных параметров и режима работы обратного клапана УЭЦН.

Залесский Э.В.; Лалетина Т.В.

Научный руководитель КТН, доцент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений Безверхая Е.В.

Сибирский федеральный университет, ИНиГ

Одной из наиболее острых проблем, возникающих при эксплуатации установки электроприводного центробежного насоса (УЭЦН) для добычи, является наличие в откачиваемой жидкости твердых взвешенных частиц (механических примесей), приводящих к снижению межремонтного периода работы скважины. Фильтрация жидкости в неустойчивых породах, особенно при больших градиентах скорости, приводит к разрушению породы, продвижению частиц к забою скважин и выносу в ствол.

Осложнения в эксплуатации таких скважин связаны с постепенным накоплением песка на забое скважин, а также в рабочих колесах погружных насосов, что приводит к перегреву погружных электродвигателей (ПЭД) и их отказу.

В связи с этим встает проблема по защите дорогостоящего оборудования от абразивного износа и заклинивания рабочих органов твердыми частицами, повышения межремонтного периода работы скважины.

При высоком содержании механических примесей применение стандартных газопесочных якорей становится неэффективным из-за малых значений центробежных сил. Общим недостатком применяемых фильтров устанавливаемых на забое или приеме насосов, является достаточно быстрое засорение непроточных ячеек и необходимость их частых промывок с подъемом оборудования.

Была разработана конструкция обратного клапана УЭЦН, позволяющего проводить промывку приема насоса от накопленных ТВЧ без подъема оборудования на поверхность, а также освобождение НКТ от жидкости при текущих ремонтах [1].

Суть конструкции состоит в следующем:

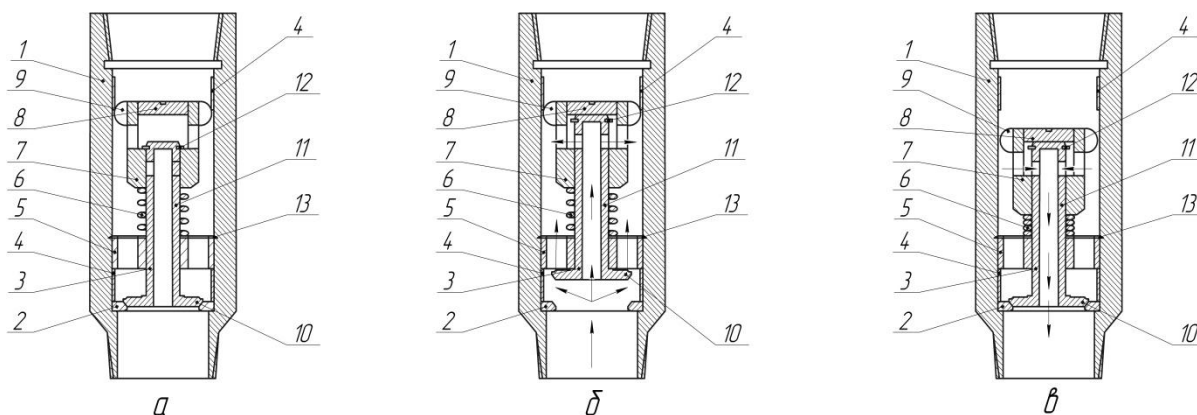


Рис.1. Конструкция обратного клапана УЭЦН.

На Рис.1а показана схема обратного клапана. В корпусе 1 клапана, установленного выше насоса, размещено посадочное седло тарельчатого клапана 3, переходящего в полый шток с горизонтальными окнами в верхней части. В седло 2 упирается опорная гильза 4, над которой располагается шайба 5 с центральным для полого штока и периферийными для протока жидкости каналами. Над шайбой расположена пружина 6, которая подпирает подвижную ступенчатую втулку 7, закрытую сверху крышкой 8 и имеющую центраторы 9. Во втулке 7 также выполнены горизонтальные отверстия большего диаметра. Клапан 3 для герметичной посадки в седло 2 имеет эластичную манжету 10. Для герметизации пары

трения: втулка 7 - полый шток клапана 3 на последнем размещены эластичные манжеты 11. Для ограничения вертикального хода втулки 7 на полом штоке клапана 3 размещено стопорное кольцо 12. Для фиксации гильзы 4 и шайбы в корпусе 1 также установлено стопорное кольцо 13. Для работы клапана используется груз, в одном случае спускаемый в колонну насосно-компрессорных труб на скребковой проволоке через лубрикатор, а в другом - сбрасываемый в НКТ.

Рассмотрим как работает вышеприведенное устройство при подъеме жидкости по НКТ, обратной промывке и ремонте скважины.

Рабочее состояние УЭЦН.

После спуска электроцентробежного насоса в скважину обратный клапан под собственным весом принимает крайнее нижнее положение. При этом пружина 6 остается в полностью разжатом положении, при котором горизонтальные отверстия во втулке 7 и полом штоке клапана 3 не совпадают, что предупреждает проток жидкости из НКТ в насос.

При запуске насоса в работу под действием напора жидкости снизу клапан 3 поднимается и пропускает жидкость в НКТ через периферийные каналы шайбы 5. Поднятие клапана 3 приведет к тому, что подвижная втулка 7 опустится по отношению к штоку, а горизонтальные каналы втулки и полого штока совпадут. Пружина 6 остается в разжатом состоянии. Таким образом, часть добываемой жидкости из насоса в НКТ будет поступать и через полый шток клапана 3. Схему обратного клапана при рабочем состоянии УЭЦН можно увидеть на Рис.16.

Промывка.

Для очистки фильтра на приёме насоса от налипших мехпримесей производится его остановка. Клапан 3 под собственным весом опустится вниз и прижмется гидростатическим давлением сверху к седлу 2. Отверстия во втулке 7 и полом штоке клапана 3 уже не совпадут, что предотвратит переток жидкости из НКТ в насос. Далее в НКТ скважины через лубрикатор на крышку 8 спускают груз, который благодаря весу, превышающему силу упругости пружины 6, сожмет ее и переместит втулку 7 вниз. При этом отверстия во втулке 7 и полом штоке клапана 3 совпадут, и жидкость из НКТ под большим напором будет перетекать в скважину через полость насоса и приёмный фильтр с обратной её стороны. Обратная промывка фильтра жидкостью позволит смыть с нее налипшую грязь. По истечению определенного времени, опущенный на скребковой проволоке груз приподнимают, и втулка 7 под действием сжатой пружины 6 возвращается в крайнее верхнее положение, перекрывая переток жидкости из НКТ в скважину.

При этом время очистки приёмной части насоса (обратной промывки) выбирается с расчетом предупреждения создания репрессии на пласт. После операции промывки производят запуск насоса в работу. Схему обратного клапана при промывке УЭЦН можно увидеть на Рис.1в.

Ремонтные работы.

Обратный клапан насоса одновременно выполняет функции сливного клапана. Перед подъёмом подземного оборудования в случае проведения ремонтных работ производят сброс груза в НКТ без скребковой проволоки. Сброшенный груз, долетев до клапана, ударяется о крышку 8, сжимает пружину 6 и удерживает втулку 7 в крайнем нижнем положении по отношению к полному штоку клапана, позволяя жидкости из НКТ через совмещенные окна во втулке и полом штоке вытекать в скважину при подъёме оборудования в период ремонта.

Чтобы отверстия во втулке 7 и полом штока клапана 3 совпали необходимо правильно подобрать материал пружины, ее конструкцию и усилие для сжатия этой пружины.

Расчет пружины.

Пусть центробежный насос подвешен на НКТ 60 (внутренний диаметр равен 50,3 мм) на глубине 1800 м. Плотность флюида 826 кг/м³.

Груз, действующий на пружину, не должен превышать 20 кг, поскольку дальнейшее увеличение массы груза значительно осложнит СПО. Пружина закреплена на эластичных манжетах диаметром 25-30 мм, длина пружины не превышает 250 мм, а расстояние от нижнего конца отверстия на втулке до нижнего отверстия на тарельчатом клапане равно 50 мм.

Подбирая пружину, учитываем многократное на нее воздействие. Из имеющихся классов пружин I класс имеет наибольшую безотказную наработку – количество циклов не менее $1 \cdot 10^7$. Далее, исходя из наружного диаметра пружины, предполагаемой силы сжатия и диаметра проволоки, принимаем пружину 1 класса, 2 разряда с номером позиции 425 по ГОСТ 13767-86 [2]. Пружина изготовлена из стали марки КТ-2 или 3К-7. Основные характеристики приведены в Таблице 1.

Таблица 1

Характеристики пружины

Сила пружины при максимальной деформации $F_3, Н$	Диаметр проволоки $d, мм$	Наружный диаметр проволоки $D1, мм$	Жесткость одного витка $C1, Н/мм$	Наибольший прогиб одного витка $s'3, мм$
212	3,5	34	51,830	4,09

Пусть груз имеет форму цельного цилиндра с диаметром 30 мм, а материал, из которого изготовлен цилиндр - сталь, плотностью 7900 кг/м³. Найдем силу, создаваемую грузом на пружину, т.е. силу пружины при рабочей деформации:

$$F_2 = P - F_A = mg - \frac{m}{\rho_{ст}} \rho_{ж} g = mg \left(1 - \frac{\rho_{ж}}{\rho_{ст}} \right) = 20 \cdot 9,81 \left(1 - \frac{826}{7900} \right) = 175,69 \text{ Н}, \quad (1)$$

где $\rho_{ст}$ - плотность стали, кг/м³; $\rho_{ж}$ - плотность флюида, кг/м³; m - масса груза, кг; g - ускорение свободного падения, м/с².

С другой стороны, сила пружины при рабочей деформации равна:

$$F_2 = m \cdot g = \frac{C_1}{N} \cdot \Delta L_1, \quad (2)$$

где C_1 – жесткость одного витка, Н/мм; N - количество витков; ΔL_1 - расстояние от нижнего конца отверстия на втулке до нижнего отверстия на тарельчатом клапане, мм.

Из выражения (2) найдем количество рабочих витков пружины:

$$N = \frac{C_1}{F_2} \cdot \Delta L_1 = \frac{51,830}{175,69} \cdot 50 = 14,75 \approx 15 \quad (3)$$

Объем цилиндра равен:

$$V_T = \pi r^2 h = \frac{m}{\rho_{ст}} \quad (4)$$

Зная массу груза, плотность и диаметр найдем высоту цилиндра:

$$h = \frac{m}{\rho_{ст} \pi r^2} = \frac{20}{7900 \cdot 3,14 \cdot 0,015^2} = 3,58 \text{ м}, \quad (5)$$

Взяв материал с большей плотностью, можно уменьшить размеры груза для упрощения СПО. Результаты расчетов сведены в Таблице 2.

Таблица 2

Сравнительная характеристика материалов.

Материал	Плотность, кг/м ³	Высота цилиндра, м	Стоимость, ₺
Сталь	7900	3,58	1020
Медь	8900	3,18	4200
Бронза	9100	3,11	2800
Свинец	11341,5	2,5	1100

Итак, для бесперебойной работы обратного клапана наиболее рационально использовать пружину 1 класса 2 разряда, которая выдержит наибольшее количество циклов в условиях агрессивной среды. Для полного сжатия данной пружины потребуется груз в форме цилиндра, изготовленный, предпочтительно, из свинца, длиной 2,5 м.

Теперь рассчитаем время необходимое для промывки скважины с помощью обратного клапана. Возьмем следующие данные: вязкость (μ) - 60 сПз, проницаемость (k) - 300 мДа, эффективная мощность пласта (h) - 20 м, перфорация на глубине 2000 м, радиус скважины (r_w) - 0,041 м, радиус контура питания (r_e) - 200 м, безопасный спуск груза осуществляется со скоростью не более 2 м/с, что займет 15 минут на глубину 1800 м.

Поскольку $P_{заб} \neq P_{пл}$, то следует ожидать приток из пласта в первую секунду равный:

$$Q_{пл}(t_1) = \frac{\pi \cdot k \cdot h \cdot (P_{пл} - \rho_{ж} \cdot g \cdot \frac{H_{дин}}{10325})}{18,41 \cdot \mu \cdot \ln(\frac{r_e}{r_w}) \cdot 86400}$$

Где $H_{дин}$ - расстояние от динамического уровня до уровня перфорации;

В последующие секунду приток из пласта определяется по формуле:

$$Q_{пл}(t_2) = \frac{\pi \cdot k \cdot h \cdot (P_{пл} - \rho_{ж} \cdot g \cdot \frac{H_{дин} + Q_{пл}(t_1) / \pi (r_{вн.обс}^2 - r_{нкт}^2)}{10325})}{18,41 \cdot \mu \cdot \ln(\frac{r_e}{r_w}) \cdot 86400}$$

Где $r_{вн.обс}$ - внутренний радиус обсадной колонны; $r_{нкт}$ - внешний радиус НКТ; $Q_{пл}(t_1)$ - приток из пласта в первую секунду.

Изменение уровней жидкости до спуска груза на клапан с момента остановки УЭЦН можно увидеть на График 1.

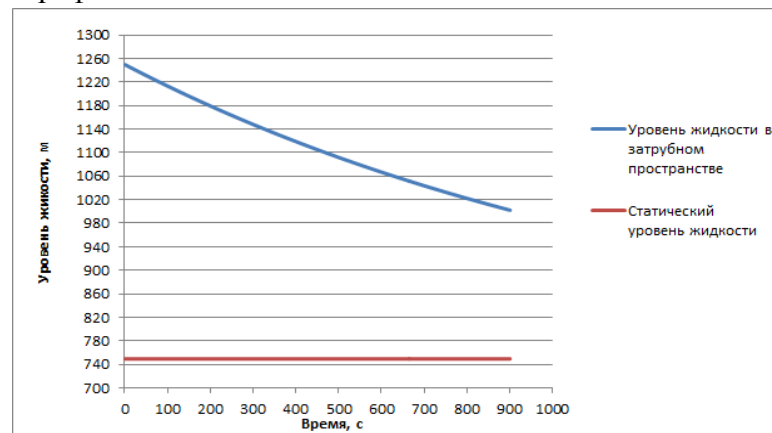


График 1. Изменение уровней жидкости до спуска груза на клапан с момента остановки УЭЦН.

Приток жидкости из НКТ можно определить по закону Паузейля:

$$Q_{нкт} = \frac{\pi \cdot r'^4 \cdot (\rho_{ж} \cdot g \cdot H_{нкт} + P_{атм} - \rho_{ж} \cdot g \cdot H'_{дин})}{8 \cdot \mu \cdot L}$$

Где $H_{нкт}$ - уровень жидкости в НКТ, $P_{атм}$ - атмосферное давление, $H'_{дин}$ - расстояние от уровня жидкости в затрубном пространстве до уровня спуска УЭЦН, в

момент открытия клапана, L -длина вертикального канала клапана. r' -радиус вертикального канала клапана.

Динамику изменения уровня жидкостей при открытии клапана можно увидеть на Графике (2).

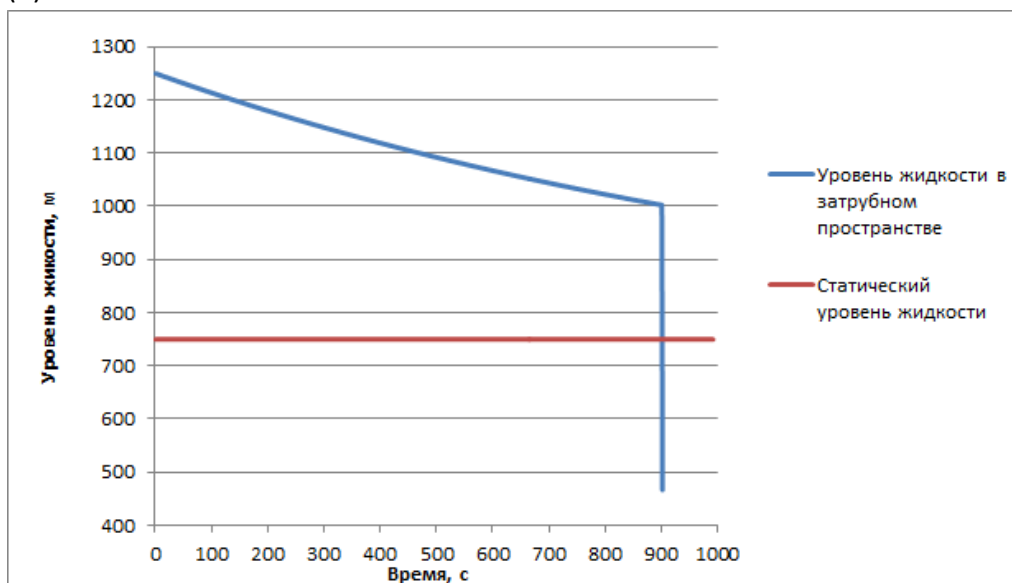


График 2. Изменение уровней жидкости при открытии обратного клапана.

Вывод.

Как можно заметить на графике во время промывки $P_{заб} > P_{пл}$, данный перепад давления позволит осуществить очистку сетки УЭЦН, однако применение обратного клапана для данной цели не целесообразно поскольку образовавшаяся репрессия может привести к задавке флюида в пласт и как следствие кольматации призабойной зоны.

Список используемой литературы:

- [1] автореферат диссертации «Разработка и исследование технологий и технических средств для поддержания пластового давления нефтяных месторождений»
- [2] ГОСТ 13767-86