

ВОПРОСЫ ВЫНОСА ПЕСКА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

Султанов Б.З., Орекешев С.С.

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Исследованию теории и практики эксплуатации скважин, склонных к пескопроявлениям, посвящено большое количество публикаций [1, 2, 3]. Наиболее интересными являются публикации А.М. Пирвердяна [3], так как им обобщены результаты исследований ряда авторов. Им установлено, что к песчаным следует относить скважины с содержанием механических примесей более 1 г/л в добываемой жидкости. Учитывая, что на месторождениях Казахстана содержание песка доходит до 1,5 - 2,0 г/л, то следует считать такие условия с технической точки зрения сложными.

Опыт эксплуатации песочных скважин показывает, что наиболее эффективным методом борьбы с пескопроявлениями является установка специальных фильтров в эксплуатационной колонне, препятствующих поступлению песка из пласта в скважину. Однако такие способы не нашли применения на практике из-за сложности и несовершенства. Наиболее реальным являются следующие направления по борьбе с песком при насосной эксплуатации скважин.

1. Обеспечение выноса на поверхность основного объема песка, выносимого из пласта за счет технико-технологических мероприятий.
2. Предохранение насоса от поступления песка с помощью фильтров, устанавливаемых на приеме насоса.
3. Установка специальных защитных приспособлений на приеме насоса в виде сепараторов различного принципа действия.

Перечисленные методы борьбы с песком применяются в той или иной мере на различных нефтяных месторождениях. Поэтому необходимо обосновать наиболее приемлемый способ. С нашей точки зрения большую привлекательность представляет первый способ. Применение фильтров и сепараторов приводит к ускорению образования песчаных пробок в скважине,

что в конечном счете приводит к необходимости более частых ремонтных работ для удаления песчаных пробок. Экономически это нецелесообразно, так как подъем насоса и последующий его монтаж требуют остановки эксплуатации скважины и материальных затрат на монтажно-демонтажные работы.

Наиболее целесообразным следует считать "полное" удаление песка из скважины на поверхность, так как работы по утилизации песка на поверхности более удобны и менее затратны. При этом нужно иметь в виду, что в процессе промывки песчаных пробок песок, скопившийся в скважине, оказывается на поверхности. Таким образом, рационально удаление песка из скважины производить непосредственно в процессе добычи нефти.

"Полное" удаление песка из скважины практически невозможно. Поэтому в дальнейшем будут рассматриваться такие технические решения, которые позволяют эксплуатировать песчаные скважины с максимально высоким эффектом выноса песка вместе с откачиваемой жидкостью.

Процесс удаления песка из скважины, как установлено выше, связан рядом операций, составляющих основную технологическую линию при эксплуатации скважин штанговыми насосами. Наиболее значимыми факторами являются скорость движения восходящего потока при эксплуатации скважины, вязкость откачиваемой жидкости и фракционный состав песка, поступающего в скважину из эксплуатируемого нефтесодержащего горизонта. Ввиду того, что при откачке жидкости из скважины повлиять на вязкость и состав песка практически невозможно, то поэтому наиболее реальным является исследование процесса движения потока жидкости в подъемных трубах и в эксплуатационной колонне для создания эффективного процесса удаления механических примесей с пластовым флюидом.

В работах А.М. Пирвердяна указывается следующее обстоятельство. При выборе труб и штанг, обеспечивающих получение необходимой площади просвета F для прохода жидкости, следует учесть, что значительное

уменьшение F может в ряде случаев повлечь за собой рост гидродинамических сопротивлений в кольцевом пространстве, особенно нежелательный при ходе штанг вниз, так как этот рост может привести в отдельных случаях при очень больших вязкостях к отставанию движения точки подвеса штанг от движения балансира. Учитывая то, что во времена исследований, опубликованных до 1995 года, практически отсутствовали альтернативные насосные установки для малодебитных скважин, то поэтому утверждение, указанное выше, было вполне справедливым.

В настоящее время на промыслах получили распространение винтовые насосные установки с поверхностным приводом. В процессе их эксплуатации поток жидкости в подъемных трубах формируется практически непрерывный. Поэтому возникает необходимость сопоставления движения песчинок в трубах как при прерывистом, так и при непрерывном движении жидкости. Следует также отметить, что в работах А.М.Пирвердяна производится анализ движения жидкости с песком только в насосно-компрессорных трубах, в то время как образование песчаных пробок происходит при осаждении песка в эксплуатационной колонне. Поэтому нами производится сопоставление процессов при прерывистом и непрерывном движении откачиваемой из скважины жидкости в эксплуатационной колонне, в которой находится скважинный насос. Естественно, что полученные выводы будут справедливы и для подъемных труб насосной установки.

Процесс перемещения жидкости в смеси с песком показан на рисунке 1. На этой схеме условно лишь в одном слое показана группа зерен песка.

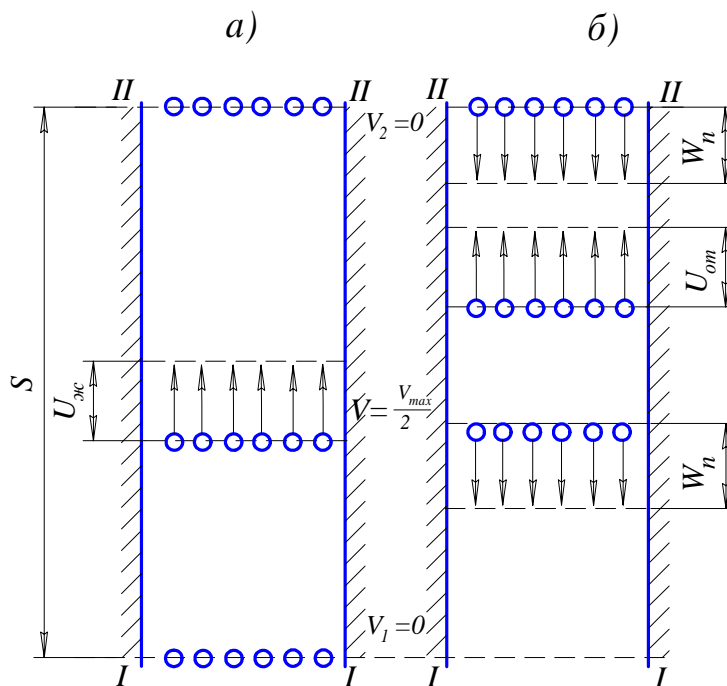


Рисунок 1 - Состояние системы "жидкость - песок" в трубе:

- а) движение жидкости в трубах НКТ за полуцикл подъема плунжера насоса;
- б) движение частиц песка в трубе при оседании в течении полного цикла работы насоса.

Предполагается, что движение происходит дискретно в соответствии с работой скважинного плунжерного насоса. За один ход плунжера жидкость переместится от сечения $I - I$ до сечения $II - II$ трубкой колонны.

На рисунке 1 объем жидкости за один ход плунжера Q , поддерживающий песок во взвешенном состоянии, переместит сечение $I - I$ в положение $II-II$ при отсутствии осаждения песка. Скорость перемещения составит

$$U_{жс} = \frac{Q}{F(1 - \sigma)} , \quad (1)$$

где F - доля просвета в сечении трубы;

σ - концентрация песка по объему (в процентах).

В случае падения частиц песка происходит вытеснение жидкости вверх в объеме

$$Q' = w F \sigma , \quad (2)$$

где w - скорость осаждения частиц песка.

При этом расход жидкости, направленный вверх за счет осаждения песка, составили

$$U'_{жс} = \frac{Q''}{F(1-\sigma)} , \quad (3)$$

Для соблюдения баланса выражение (2) приравняем к выражению (3), решенное относительно Q'' .

В результате получим выражение

$$U_{жс} = w \sigma (1 - \sigma) , \quad (4)$$

При движении песка вместе с жидкостью вверх (рис.1, б) скорость движения жидкости $U_{жс}$ и песка U_n будут соответственно

$$U_{жс} = \frac{Q}{F(1-\sigma)} , \quad (5)$$

$$U_n = \frac{q}{F\sigma} , \quad (6)$$

где Q и q - соответственно расходы жидкости и песка.

Относительная скорость частиц песка составит

$$U_{от} = U_{жс} - U_n , \quad (7)$$

Таким образом за один ход плунжера штангового насоса частицы песка будут перемещены на расстояние

$$l_n = U_{от} t , \quad (8)$$

где t - время хода плунжера насоса вверх.

Перемещение частиц песка будет происходить дискретно. При совершении следующего хода для перемещения частиц песка потребуется вывести частицу песка, обладающую массой m , из состояния покоя и создать

движение с ускорением a , определяемым ускорением движения плунжера, перемещающего жидкость вверх по колонне труб. Для этого потребуется сила, определяемая по закону Ньютона

$$P = ma, \quad (9)$$

Работа силы P составит за один ход плунжера

$$A_1 = Pl_n, \quad (10)$$

Масса песка определяется массовым объемом в соответствии с фактической концентрацией песка. Работа, дополнительно совершаемая для перемещения песка до поверхности, будет определяться числом качаний станка-качалки за весь период работы насоса на полной глубине подвески.

$$A_1 = maU_{om}t, \quad (11)$$

Параметры насосной установки a и t зависят от дебита скважины, а следовательно, от подачи насоса. Ориентировочные подсчеты показывают, что для выноса из скважины 100 кг песка требуется затратить дополнительно энергию для создания только прерывистого движения в пределах 150-170 кДж при глубине скважины 100 метров.

Вторым отрицательным фактором при использовании плунжерных насосов является снижение скорости выноса песка. При использовании сплошного потока жидкости вынос песка будет происходить без остановок в неисправном режиме, причем в этом случае рассматривается процесс при одинаковом дебите скважины.

На рис.2 показана схема движения песка от сечения $I - I$ до сечения $II - II$ за время $2t$ соответствующего полному циклу работы плунжерного насоса, включающего ход вверх и ход вниз.

В этом случае частицы песка будут проходить расстояние от сечения $I - I$ до сечения $II - II$ в два раза быстрее, чем при прерывистом движении. При этом отпадает необходимость затраты для страгивания массы песка из состояния покоя в состояние движения при каждом ходе плунжера. Представленные

материалы показывают, что непрерывное движение существенно улучшает вынос песка из скважины при добыче нефти с большим содержанием песка.

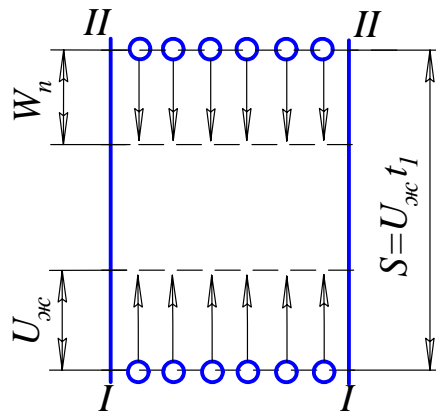


Рисунок 2 - Схема движения песка при непрерывном режиме подъема по НКТ при непрерывном режиме процесса

Скорость движения потока жидкости в колонне труб имеет решающее значение для выноса песка из скважины, а следовательно, на образование пробок при эксплуатации скважин в процессе добычи нефти. В работах А.Б.Сулейманова [4] предлагается производить подлив жидкости в межтрубное пространство песочной скважины и тем самым увеличить подачу насоса для увеличения скорости движения жидкости в НКТ, что должно привести к большему выносу песка из скважины. Этот метод не нашел применения из-за необходимости включения в состав насосной установки дополнительного оборудования. Кроме этого процесс пробкообразования возникает из-за малой скорости движения потока в эксплуатационной колонне, так как оседание песка, поступившего из пласта, не снижается при увеличении скорости потока в подъемных трубах.

В работах ряда исследователей предлагается для увеличения выноса песка использовать в малодобитных скважинах в качестве подъемных труб полые штанги. Расчеты показывают, что при эксплуатации скважин плунжерными насосами, оснащенными полыми штангами, резко возрастают

силы сопротивления поступательному перемещению штанг. В этом случае на колонну штанг будет действовать распределенная по ее длине сила трения, направленная вверх

$$T_1 = 2\pi r_{um} H v \left(\frac{dv}{dr} \right), \quad (12)$$

Если вязкость нефти достаточно высока, то возможно зависание штанговой колонны и последующий обрыв штанг ввиду возникновения ударных нагрузок, приводящих к недопустимым нагрузкам на элементы штанговой колонны.

Использование полых штанг в качестве подъемных труб вместо НКТ возможно при использовании винтовых насосных установок с поверхностным приводом. При работе винтового насоса штанговая колонна совершает вращательное движение. Поэтому возможность возникновения динамических нагрузок на колонну штанг практически исключается. Площадь сечения полых штанг существенно ниже, чем сечение трубных колонн любых размеров. Особенно это чувствительно в сравнении с площадью сечения обсадных труб.

Рассмотрим на примерах сопоставимость скоростей движения потока жидкости в трубах различных типоразмеров. В справочной литературе даются геометрические размеры НКТ различных конструкций. Наружные диаметры труб могут быть 33, 42, 48, 60 мм и больше. Трубы с высаженными наружу концами имеют минимальный диаметр 27 мм. Таким образом, минимальные внутренние диаметры указанных труб составляют 20,7; 26,4; 36,2; 40,3 и 50,3 мм. Скорость подъема жидкости в этих трубах необходимо установить для оценки возможной скорости выноса частиц песка из скважины при добыче нефти.

Известно, что скорость движения жидкости зависит от расхода и площади сечения трубы с учетом концентрации песка σ и составляет

$$U_{\text{жс}} = \frac{Q}{F(1 - \sigma)}, \quad (13)$$

В практике эксплуатации малодобитных скважин обычно подача скважинного насоса находится в пределах 2,0 - 5,0 м³ / сут. Поэтому для этих условий скорости восходящего потока жидкости в трубах составят величины, указанные в таблице 1. По результатам расчета получена графическая зависимость скорости потока от внутреннего сечения трубы диаметром 60 мм при подаче насоса от 2 до 5 м³ / сут. (рис. 3)

Таблица 1 - Скорости потока жидкости в подъемной колонне при различных диаметрах труб

Наружный и внутренний диаметры (d_n/d_v) НКТ, (мм) и площадь сечения трубы, (см ²)	Подача насоса, м ³ /сут			
	2	3	4	5
27/20,7 (3,36)	0,071	0,104	0,137	0,173
33/26,4 (5,47)	0,043	0,062	0,082	0,104
42/35,2 (9,73)	0,026	0,036	0,048	0,060
48/40,3 (12,75)	0,017	0,025	0,033	0,042
60/50,3 (19,86)	0,012	0,017	0,023	0,029

Данные таблицы 1 и рисунка 3 показывают, что скорости движения жидкости в колонне подъемных труб колеблются в широких пределах. При необходимости могут быть выбраны эффективные режимы откачки нефти из скважин в различных технико-технологических условиях.

Скорость выноса песка из скважины зависит от скорости оседания этих частиц в движущемся потоке скважинной жидкости. Для определения скорости оседания песка используется формула Стокса

$$w_0 = \frac{1}{18} \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \right) \frac{g d^2}{\nu_k}, \quad (14)$$

где ρ_1 и ρ_2 - плотности зерен песка и плотности жидкости соответственно;

d - диаметр эквивалентного по объему песчинки шара;

ν_k - кинематическая вязкость жидкости.

Учитывая, что в нефтепромысловой практике более продуктивно используется динамическая вязкость, произведем соответствующие преобразования для уточнения практических расчетов.

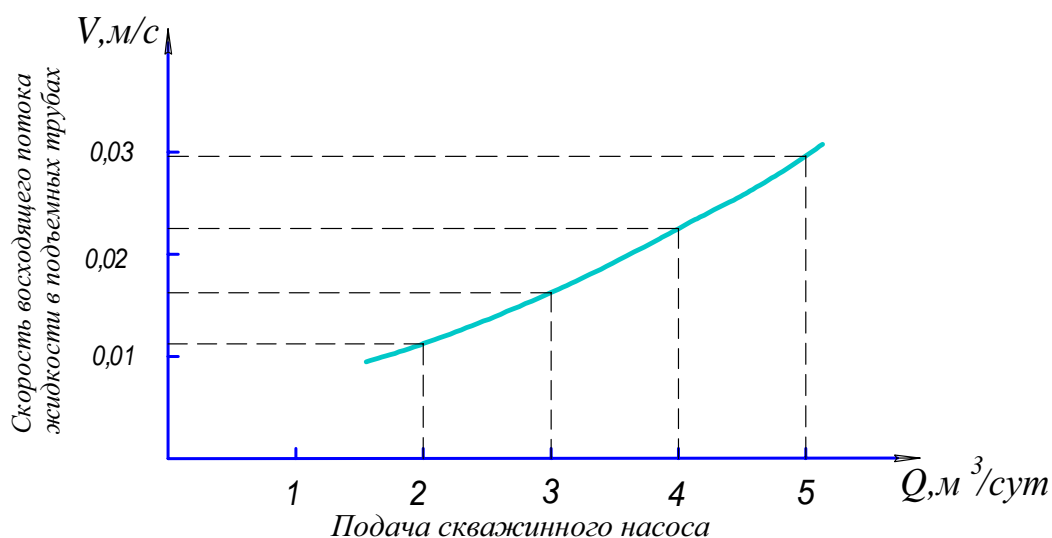


Рисунок 3 – Графическая зависимость скорости потока от внутреннего сечения трубы

Силы сопротивления оседанию частиц песка в первую очередь зависят от вязкости жидкости. Поэтому важно проанализировать процесс оседания песка с учетом действия динамических факторов. Если взять шарообразную частицу диаметром d , то она имеет объем $\pi d^3/6$ и при плотности ρ_n обладает силой тяжести с учетом выталкивающей силы

$$T = \frac{\pi d^3}{6} \cdot (\rho_n - \rho_{жс}) g, \quad (15)$$

где ρ_n и $\rho_{жс}$ – плотности материалов песка и жидкости;

g - ускорение свободного падения частиц песка.

Сила сопротивления жидкости при свободном падении частицы составляет

$$R = \xi \left(\frac{\rho_{жс} \cdot w^2}{2} \right) f, \quad (16)$$

где f - меделево сечение частицы;

ξ - коэффициент сопротивления при оседании песка, являющийся функцией числа Рейнольдса, зависящий от формы тела;

w - линейная скорость оседания частицы песка.

При равномерном движении частиц песка $T=R$. Решив совместные выражения относительно (15) и (16) относительно коэффициента сопротивления, получим

$$\xi = \frac{4}{3} d \frac{(\rho_n - \rho_{жс})}{\rho_{жс} \cdot w^2} g, \quad (17)$$

Для ламинарного движения коэффициент сопротивления поддается теоретическому определению. Известно, что $Re = 24/\xi$ и $Re = \frac{d w_0}{\nu_k}$,

откуда

$$\xi = \frac{24 \nu_k}{w d}, \quad (18)$$

В результате подстановки (18) в (17) получим формулу

$$w = g \frac{d^2 (\rho_n - \rho_{жс})}{18 \nu_\delta}, \quad (19)$$

где ν_δ - динамическая вязкость скважиной жидкости, измеряемая в Па·с.

Полученное выражение является формулой Стокса, определяемой состояние оседания частицы в жидкости в зависимости от размеров частиц песка и динамической вязкости жидкости. Для анализа этих показателей для промысловых условий на процесс оседания частиц песка приведены соответствующие расчеты. Для примера приведено определение скорости оседания песка, размером 0,1 мм в жидкости с динамической вязкостью

100 мПа·с. Плотность песка взята 2,9 г/см³, жидкости - 0,8 г/см³.

$$w = 9,81 \frac{(0,1 \cdot 10^{-3})^2 (2,9 - 0,80) \cdot 10^3}{18 \cdot 0,1} = 0,0012 \text{ м/с}$$

Для определения закономерностей при оседании песка различных размеров проведены соответствующие расчеты и построен график зависимости w от d . Кроме этого установлены показатели скорости оседания частиц от вязкости жидкости. Зависимости представлены на рисунке 4. Графики показывают, что на скорость оседания частиц песка существенное влияние оказывают размеры песчинок, так как их объем изменяется в кубической зависимости от диаметра. Вязкость жидкости влияет на скорость оседания частиц песка в линейной зависимости, но при этом оказывает существенное влияние при повышении вязкости на уменьшение скорости оседания.

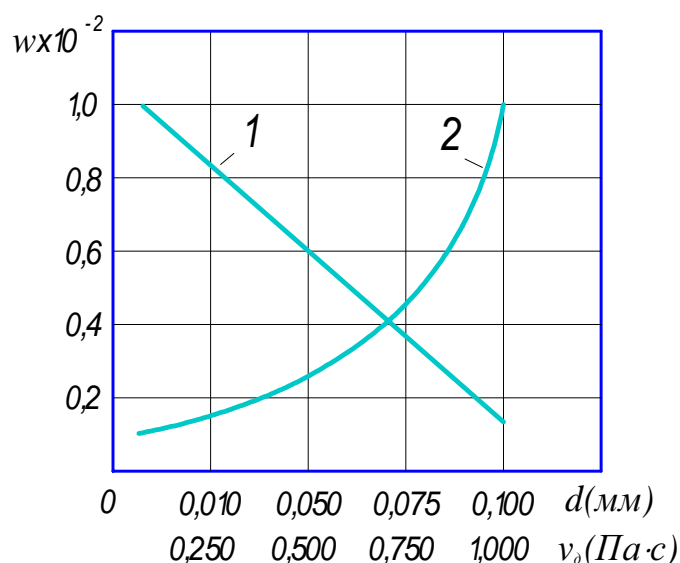


Рисунок 4 - Зависимость скорости оседания песка в скважинной жидкости:

- 1 - от вязкости жидкости при d - 0,1 мм;
- 2 - от размеров частиц при v_0 - 100 мПа·с

Литература

1. Адонин А.Н. Добыча нефти штанговыми насосами.-М.:Недра,1979.-278 с.
2. Вирковский А.С. Теория и практика глубиннонасосной добычи нефти.- М.: Недра, 1971 .- 184 с.
3. Пирвердян А.М. Защита скважинного насоса от газа и песка. - М.: Недра, 1986.-120 с
4. Сулейманов А.Б., Везиров С.В., Кауфман В.А. Состояние техники насосной добычи нефти в Азербайджане и задачи ее дальнейшего совершенствования. - Азербайджанское нефтяное хозяйство, № 7, 1962.