

ВЛИЯНИЕ ПЕРИОДА РЕЛАКСАЦИИ ВОДОГАЗОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ НА ВЕЛИЧИНУ СИЛ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ

Романова Н.А.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет
natar18@mail.ru*

Алиев З.З.

ТПП «Когалымнефтегаз»

В данной статье исследуется влияние процесса релаксации водогазонефтяных эмульсий на силы гидродинамического трения. Кроме того, предлагается конструкция пневмокомпенсатора для уменьшения вероятности возникновения аварийных ситуаций в период пуска и частичного устранения пульсационного характера движения жидкости в насосных трубах.

Ключевые слова: водогазонефтяные эмульсии, вязкость, штанговые насосы, взаимнонерастворимые среды, гидродинамическое трение, пневмокомпенсатор

В процессе добычи высоковязких нефтей движение жидкости в колонне НКТ приобретает гармонический характер, при этом в середине хода достигается наибольшее значение нагрузки. Следствием этого является высокое число аварий, связанных с обрывом труб и штанг.

Период пуска - это особенно опасный период в отношении вероятности возникновения аварийной ситуации. Это связано с образованием структуры в эмульсии, обусловленной содержанием в нефтяной фазе парафинов, смол и асфальтенов. При ходе колонны вниз происходит зависание штанг, затем при ходе вверх возникает удар, и в таком режиме скважина работает несколько минут. Однако в последующие дни амплитуда нагрузок остается очень высокой, и с большой вероятностью можно ожидать аварии если не в первые минуты работы, то в последующие несколько дней [1].

Если известен характер изменения вязкости со временем старения нефтяной эмульсии или, наоборот, в период релаксации (разрушения структуры), то предлагается следующий способ расчета сил гидродинамического трения.

Для упрощения принимается, что движение штанг подчиняется квазистатическому режиму при ламинарном течении жидкости, то есть, штанги движутся

с постоянной скоростью, а скорость жидкости не превышает скорость движения штанг.

Таким образом, установившееся движение можно описать уравнением Навье-Стокса, имеющим следующий вид:

$$\frac{\mu \cdot \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial v}{\partial r} \right) \right]}{r} - \frac{\partial P}{\partial z} - \rho g = 0, \quad (1)$$

где

μ – динамическая вязкость нефти, Па·с;

r – координата по радиусу трубы, м;

v – скорость жидкости, м/с;

P – давление, Па;

z – координата глубины скважины;

ρ – плотность жидкости;

g – ускорение свободного падения.

Так как вязкость μ в этом уравнении принимается переменной величиной, то перепишем уравнение (1) в виде:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\mu \cdot r \cdot \frac{\partial v}{\partial r} \right) - \frac{\partial P}{\partial z} - \rho g = 0. \quad (2)$$

Зависимость вязкости от градиента скорости аппроксимируется уравнением:

$$\mu = a + b \cdot \exp \left(c \left| \frac{\partial v}{\partial r} \right| \right), \quad (3)$$

где a , b , c – безразмерные коэффициенты.

Перепишем уравнение (2) в следующем виде:

$$\frac{1}{r} \cdot \left(r \cdot \frac{\partial v}{\partial r} \cdot \frac{\partial \mu}{\partial r} + \mu \cdot \frac{\partial v}{\partial r} + \mu \cdot r \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} \right) - \rho g - \frac{\partial P}{\partial z} = 0, \quad (4)$$

где вязкость μ определяется выражением (3), а производная вязкости по радиусу кольцевого пространства следующим выражением:

$$\frac{\partial \mu}{\partial r} = b \cdot e^{c \cdot \left| \frac{\partial v(r)}{\partial r} \right|} \cdot c \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial r^2}. \quad (5)$$

В результате решения этого дифференциального уравнения можно получить распределение скорости течения жидкости по радиусу НКТ и построить эпюру по заданному перепаду давления, пример эпюры показан на рис. 1.

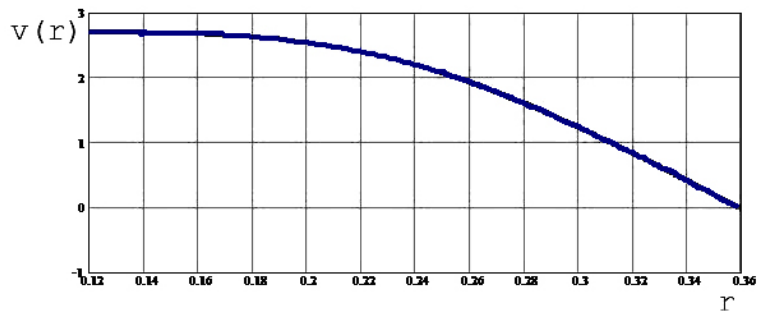


Рисунок 1. Распределение скорости поднимаемой эмульсии по радиусу кольцевого сечения в НКТ

Расход жидкости через кольцевое сечение между штангами и НКТ определяется так:

$$Q = 2\pi \left(\int_{r_0}^r r \cdot v(r) dr \right). \quad (6)$$

При условии известного расхода задаемся произвольным значением перепада давлений, решаем уравнение (4), затем по найденному распределению скоростей находим расход и сравниваем его с заданным. Если расходы не совпадают, то, меняя с определенным шагом значение перепада давления, находим то, при котором вычисленный расход совпадет с данным, после чего рассчитываем силу трения, действующую на штанговую колонну, по формуле:

$$F_{mp} = \frac{\partial P}{\partial z} \cdot L \cdot f_{nl}, \quad (7)$$

где:

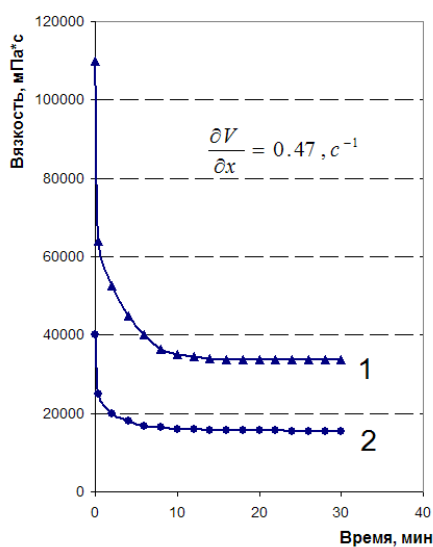
F_{mp} - сила трения, Н;

L - длина штанговой колонны, м;

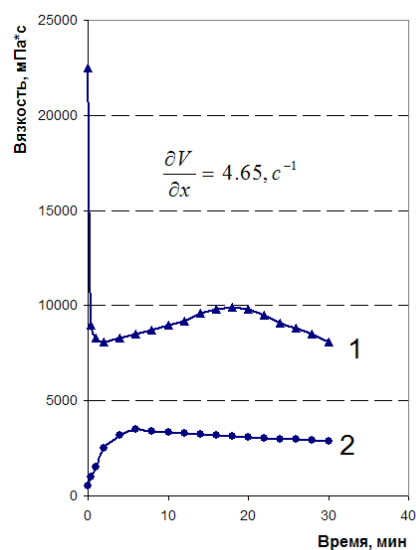
f_{nl} - площадь плунжера насоса, м².

В [2] опубликованы результаты экспериментальных данных по изменению вязкости эмульсий типа вода в нефти со временем при различных скоростях сдвига (рис. 2). Авторы [2] исследуют влияние воздействия магнитных полей на осо-

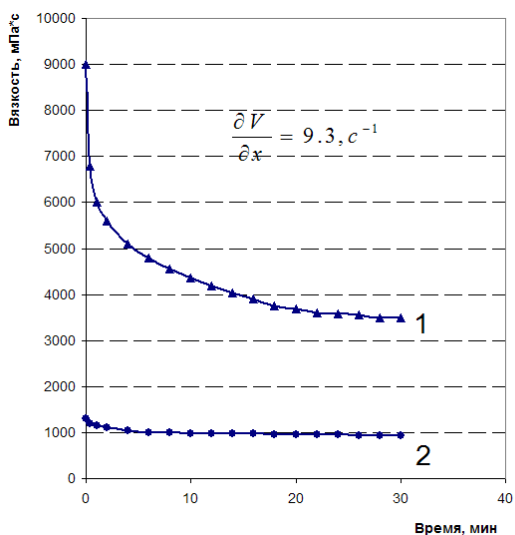
бенности релаксации вязких структурированных нефтей, содержащих парафины, смолы и асфальтены. Цифра 1 на графиках означает, что жидкость не подверглась магнитной обработке, а кривые 2 построены для нефтей после воздействия магнитными полями. Так как в рамках данной работы мы не рассматривали влияние магнитного поля на вязкость, то далее будут использоваться лишь кривые под номером 1.



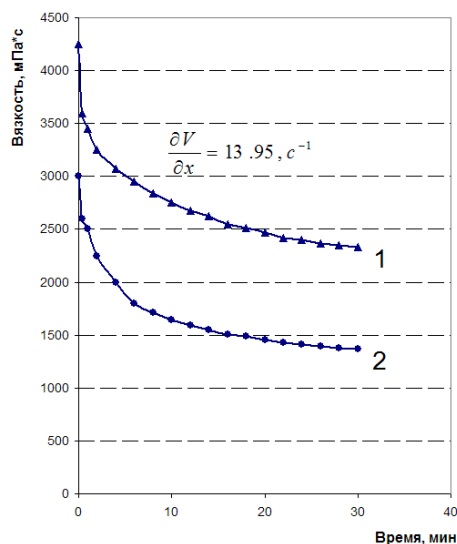
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2. Зависимость динамической вязкости нефти от времени релаксации после приведения жидкости в движение при скорости сдвига: $0.47 c^{-1}$ (а), $4.65 c^{-1}$ (б), $9.3 c^{-1}$ (в), $13.95 c^{-1}$ (г)

Используя точки на приведенных выше графиках, были построены зависимости вязкости от скорости сдвига для дискретных значений времени релаксации: в момент приведения жидкости в движение, через 10 мин, 20 мин и через 30 минут – см. рис. 3.

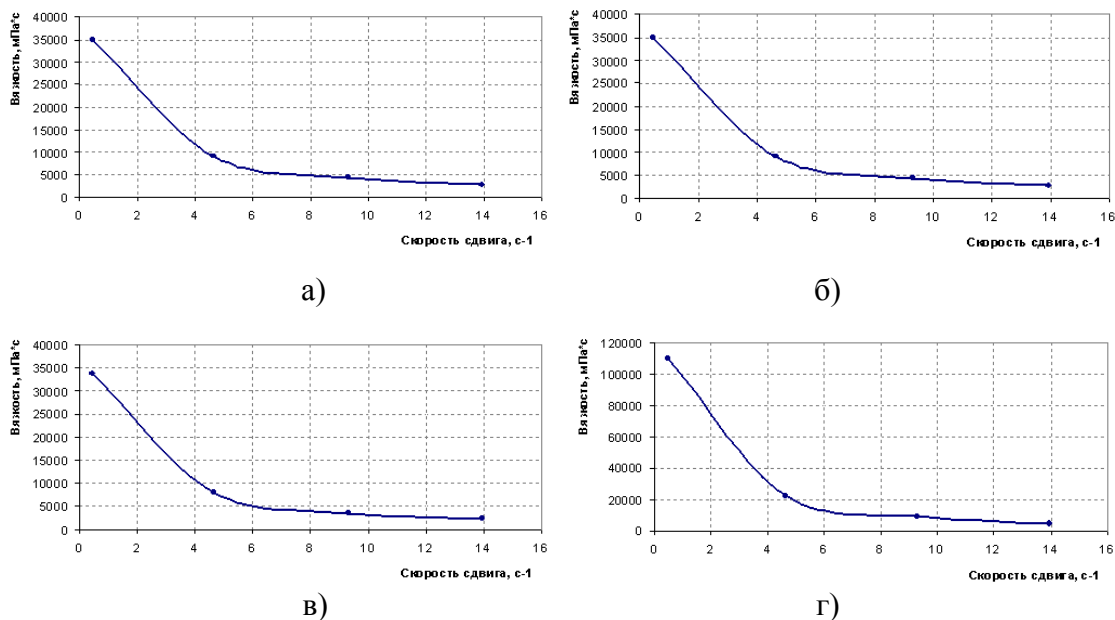


Рисунок 3. Влияние скорости сдвига на вязкость эмульсий по прошествии времени после приведения жидкости в движение:

а – в момент пуска, б – через 10 минут,
в – через 20 минут, г – через 30 минут

Таким образом, полученные значения вязкости были аппроксимированы уравнением (3), а затем была решена задача (4), что позволило построить зависимость силы трения от времени, прошедшего после запуска скважины в работу – рис. 4.

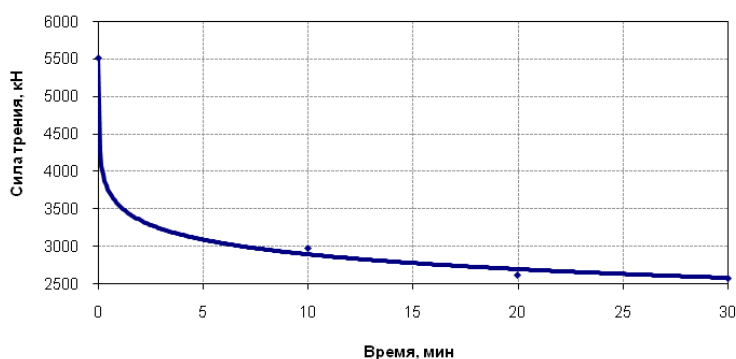


Рисунок 4. Влияние времени релаксации структурированной эмульсии на силы гидродинамического трения

Сила сопротивления в первые пять минут снижается наиболее значительно, а по прошествии тридцати минут – практически не меняется. Это объясняется тем, что большинство связей в структуре, образованной при старении во время останова скважины, разрушается в первые несколько минут работы.

Конструкция пневмокомпенсатора, позволяющего уменьшить нагрузки в период пуска скважины после длительной остановки

Как уже говорилось выше, при таком значительном росте силы трения в период пуска скважины в работу наблюдается огромное количество аварий, в частности, обрыв штанг и колонны НКТ. При этом определяющая роль принадлежит закону изменения скорости движения жидкости в кольцевом пространстве НКТ, а значит, и нагрузок на оборудование, который носит пульсационный характер.

В целях уменьшения вероятности обрыва штанг и НКТ за счет снижения действия пускового момента и пульсаций давления на НКТ в России и за рубежом нашли применение пневмокомпенсаторы – газовые камеры, являющиеся аккумуляторами энергии сжатого газа при повышении давления в НКТ, сообщенные с полостью НКТ [1]. Суть работы пневмокомпенсатора заключается в том, что выше места его установки выравнивается скорость и давление жидкости и амплитуда нагрузок уменьшается за счет того, что закон изменения скорости откачки, а, следовательно, и давления, становится не гармоническим, а равномерным.

Во всех применяемых в настоящее время пневмокомпенсаторах заполнение газовых камер осуществляется либо нагнетанием воздуха компрессором с поверхности, либо сепарируемым из нефти газом.

В данной работе предлагается на колонну НКТ установить пневмокомпенсаторы, в газовые полости которых производится закачка газа компрессором до спуска оборудования в скважину. Конструкция пневмокомпенсатора описана ниже.

На рис. 5а схематично представлен общий вид скважинной штанговой насосной установки, на рис. 5б – общий вид компенсатора.

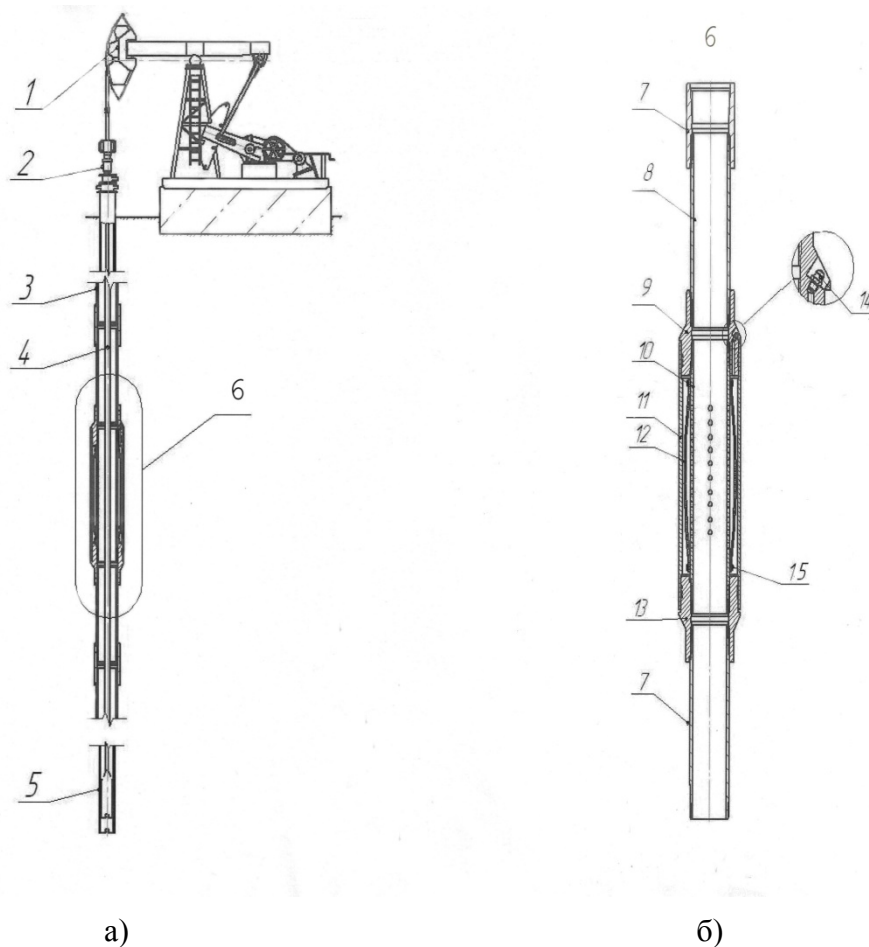


Рисунок 5. Общий вид скважинной штанговой насосной установки и пневмокомпенсатора:

- 1 - станок-качалка, 2 - устьевая арматура, 3 - колонна НКТ, 4 - колонна штанг,
 5 - глубинный насос, 6 - компенсатор, 7 - муфта, 8 - патрубок,
 9 - переводник с клапаном, 10 - патрубок перфорированный, 11 - кожух,
 12 - эластичный элемент, 13 - переводник, 14 - клапан, 15 - хомут

Пневмокомпенсатор представляет собой патрубок, образующий камеру, причем камера выполнена в виде коаксиальной трубы, внутри которой также коаксиально размещена эластичная перегородка, образующая вместе с наружной трубой герметичную рабочую камеру. В верхней части рабочей камеры установлен подпружиненный клапан. Труба, расположенная с внутренней стороны эластичной перегородки, перфорирована через равные промежутки как в осевом, так и в радиальном направлении. Пневмокомпенсаторы крепятся снизу при помощи переводника, а сверху – посредством переходника с клапаном.

Предлагаемые пневмокомпенсаторы работают следующим образом.

В момент запуска установки плунжером насоса страгивается лишь тот столб жидкости, который находится между плунжером и первым снизу пневмокомпенсатором в колонне НКТ, после чего жидкость через перфорированную стенку труб в области компенсатора попадает в рабочую камеру компенсатора, где под ее давлением прогибается эластичный элемент. Одновременно происходит разрушение структуры жидкости на данном участке, вследствие чего вязкость нефти уменьшается. Давление газа в указанной выше полости растет, и после того, как оно достигнет предельной величины, страгивается следующий участок жидкости в колонне насосных труб.

Расположение нескольких пневмокомпенсаторов по глубине скважины позволяет устранить пульсационный характер изменения давления в колонне и облегчить запуск глубинного оборудования в работу.

Таким образом достигается снижение нагрузки на штанги и колонну НКТ, что позволяет уменьшить вероятность их обрыва при пуске в работу скважины с вязкой парафинистой нефтью.

Литература

1. Уразаков К.Р., Богомольный Е.И., Сейтпагамбетов Ж.С., Газаров А.Г. Насосная добыча высоковязкой нефти из наклонных и обводненных скважин. – М.: Недра, – 303 с.
2. Лесин В.И. Особенности релаксации вязкости неньютоновской нефти после воздействия градиентами скорости и магнитными полями // Нефтепромысловое дело. – № 1. – 2008. – с. 43-46.