

## **МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ ЭФФЕКТИВНОЙ ВЯЗКОСТИ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В СКВАЖИНАХ, ОБОРУДОВАННЫХ УСТАНОВКАМИ ШТАНГОВЫХ НАСОСОВ**

Романова Н.А.

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

*В настоящей статье предлагается методика построения карты эффективной вязкости водогазонефтяных эмульсий, основанной на методике определения эффективной вязкости водогазонефтяных эмульсий. Предлагаемая методика использует данные промысловой динамограммы, параметры технологического режима работы скважины технологического режима и сведения о компоновке колонны штанг, а также физические свойства нефтяной эмульсии.*

*Ключевые слова: водогазонефтяные эмульсии, вязкость, штанговые насосы, взаимнонерастворимые среды, насосно-компрессорные трубы, эмпирические корреляции.*

При добыче нефти установками скважинных штанговых (УСШН) возникает большое количество аварийных ситуаций, связанных с обрывом и отворотом штанг и насосно-компрессорных труб (НКТ). Одной из причин, способствующих возникновению такого рода аварий, является высокая вязкость водонефтяной эмульсии в НКТ. Для верного учета сил вязкого трения необходимо точное знание вязкости эмульсии в кольцевом пространстве НКТ, определить которую экспериментальным путем затруднительно. Существующие методы расчета вязкости позволяют определить вязкость эмульсий при конкретных значениях температуры, давления, газонасыщения и других факторов, влияющих на величину вязкости. Это значит, что возможно рассчитать вязкость на данном участке глубины скважины, однако не существует методики, позволяющей выполнить расчет осредненной вязкости, значение которой можно использовать для адекватного учета сил трения на стадии проектирования механизированной добычи нефти. Кроме того, ни одна из этих методик не учитывает влияние муфт и штанг на эмульгирование водонефтяной смеси. При этом, степень диспергирования эмульсии значительно сказывается на величине ее вязкости. В данной статье предлагается способ построения карты эффективной вязкости водонефтяных эмульсий, основанной на методике определения эффективной вязкости водонефтяных эмульсий, подробно описанной в [1].

Методика использует данные промысловой динамограммы, в частности значение минимальной нагрузки, данные технологического режима и сведения о компоновке колонны штанг, а также физические свойства нефтяной эмульсии. В результате была выведена формула для расчета эффективной вязкости водонефтяной эмульсии в НКТ:

$$\mu = \frac{F_{в.шт}(\cos \alpha + \sin \alpha) - F_{тр.шт}(\mu) - F_{тр.пл} - F_{мин} - F_R}{16.9u \sum_{i=1}^N \ell_i \left( \frac{d_{шт,i}}{d_{НКТ}} \right)^{5.49} + \frac{2.62 \cdot 10^{-3} k S n d_n^2 (d_n^2 - d_o^2)}{d_o \rho_{см}}}, \quad (1)$$

где:

$\mu$  – динамическая вязкость смеси, Па·с;

$F_{в.шт}$  – вес штанг в жидкости;

$\alpha$  – угол наклона оси скважины;

$F_{тр.шт}$  – сила трения штанг о трубы;

$F_{тр.пл}$  – сила трения между плунжером и цилиндром;

$F_{мин}$  – минимальная нагрузка по динамограмме;

$F_R$  – сила реакции опоры;

$u$  – средняя скорость движения штанг, м/с;

$\ell_i$  – длина  $i$ -ой ступени штанг, м;

$d_{шт,i}$  и  $d_{НКТ}$  – диаметры  $i$ -ой ступени колонны штанг и НКТ, м;

$k$  – число клапанов;

$S$  – длина хода, м;

$n$  – число качаний в минуту, 1/мин;

$d_n$  – диаметр насоса, м;

$d_o$  – диаметр отверстия в седле клапана, м;

$\rho_{см}$  – средняя по длине колонны НКТ плотность газожидкостной смеси, кг/м<sup>3</sup>.

Уравнение (1) решается численным методом.

Данная методика может быть использована для расчета вязкости такой жидкости, реология течения которой подчиняется закону вязкого трения Ньютона.

### Методика построения карты эффективной вязкости водонефтяных эмульсий для месторождений скважин, оборудованных УСШН

На основе изложенной методики предлагается построить карту эффективной вязкости водонефтяных эмульсий для скважин, оборудованных штанговыми установками.

Для построения карты необходимо взять выборку скважин одного из пластов данного месторождения, затем, используя вышеизложенную методику расчета вязкости, вычислить вязкость эмульсий для скважин выбранного пласта, и найденные точки нанести на график зависимости вязкости от обводненности нефти. Аналогичным образом построить подобный график для других пластов этого месторождения. Полученная карта позволяет определить вязкость эмульсии в НКТ для любой скважины выбранного месторождения, если известна ее обводненность. Так как со временем степень содержания воды в нефти меняется, то карта дает возможность прогнозировать изменение вязкости.

Пример такой карты для скважин Тарасовского месторождения приведен на рисунке 1.

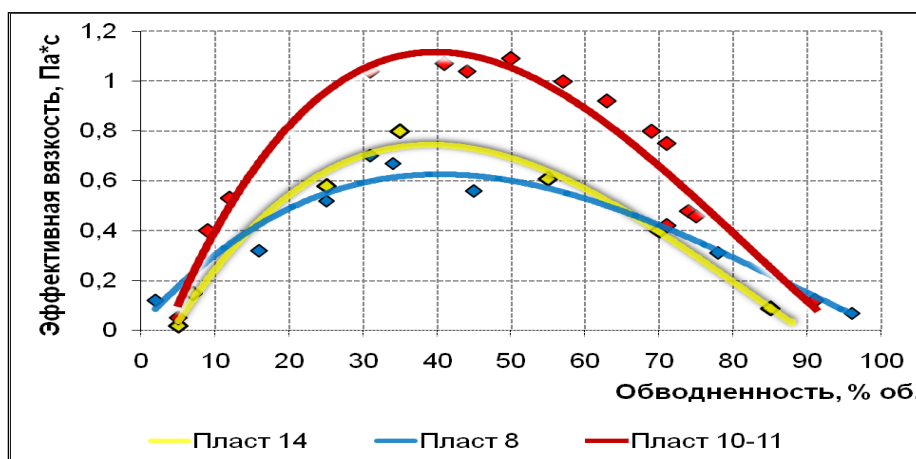


Рисунок 1. Карта эффективной вязкости водонефтяных эмульсий для скважин Тарасовского месторождения (пласты 8, 10-11 и 14)

С применением карты предлагается определить минимальную нагрузку  $F_{мин}$ , решив обратную задачу. Используя параметры предшествующего режима, вычисляется вязкость водонефтяной эмульсии для ряда скважин данного месторождения. Затем строится зависимость вязкости от степени обводненности. По по-

лученной зависимости определяется вязкость эмульсии, а следовательно, и минимальная нагрузка для любой другой скважины этого месторождения, если известна ее обводненность. Таким образом, можно прогнозировать изменение в зависимости от изменения содержания воды в эмульсии.

При проектировании насосного оборудования кроме значения минимальной нагрузки на штанги, также необходимо знать величину максимальной нагрузки. Максимальная нагрузка определяется при ходе плунжера вверх и включает в себя, помимо сил, действующих на колонну штанг при ходе вниз, также:

1) силу, действующую со стороны НКТ

$$F_{НКТ} = F_{m, см} + F_{уст}, \quad (2)$$

где:

$F_{m, см}$  – сила тяжести смеси в колонне НКТ;

$F_{уст}$  – сила, обусловленная противодавлением на устье скважины.

2) силу, действующую со стороны затрубного пространства

$$F_{пр} = F_{см.з} + F_{рз}, \quad (3)$$

где:

$F_{см.з}$  – сила тяжести смеси в затрубном пространстве;

$F_{рз}$  – нагрузка от давления в затрубном пространстве.

На значение максимальной нагрузки при ходе плунжера вверх существенное влияние оказывает относительная скорость движения жидкости и колонны штанг, которая зависит от соотношения диаметра скважинного штангового насоса  $D_{сшн}$  и внутреннего диаметра колонны насосно-компрессорных труб  $D_{нкт}$ . Выделяют три случая [2]:

1.  $D_{нкт} < D_{сшн}$

В этом случае скорость жидкости больше, чем скорость движения штанг. При этом потери давления на гидродинамическое трение суммируются по всей длине колонны, и перепад давления, возникающий вследствие потерь, действует на плунжер, а усилие – на колонну штанг. По длине штанг происходит перераспределение нагрузки, так как жидкость, чья скорость движения выше, увлекает за собой штанги, и нагрузки на нижнее сечение становятся больше, чем нагрузки на нижнее сечение. Распределение скорости жидкости по кольцевому пространству между штангами и НКТ показано на рисунке 2.

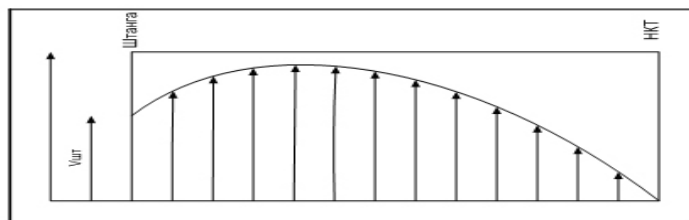


Рисунок 2. Профиль скорости жидкости в кольцевом пространстве НКТ при  $D_{пнт} < D_{сйн}$

### 2. $D_{пнт} > D_{сйн}$

Скорость жидкости меньше скорости штанг. В этом случае штанги, опережая жидкости, увлекают ее за собой, в результате чего давление над плунжером падает и может опуститься ниже гидростатического. Как и в первом случае, происходит перераспределение нагрузок по длине колонны, при этом нагрузки на верхнее сечение, напротив, превышают нагрузки, действующие на нижнее сечение. Профиль скорости жидкости в полости НКТ приведен на рисунке 3.

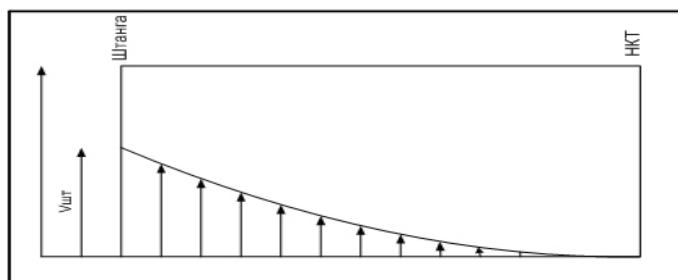


Рисунок 3. Профиль скорости жидкости в кольцевом пространстве НКТ при  $D_{пнт} > D_{сйн}$

### 3. $D_{пнт} = D_{сйн}$

При выполнении этого условия скорости жидкости и штанг равны между собой. Перераспределения нагрузки не происходит и сила гидродинамического трения между жидкостью и штангами отсутствует. Распределение скорости жидкости по кольцевому пространству показано на рисунке 4.

В последнем случае значение максимальной нагрузки самое низкое по сравнению с двумя другими.

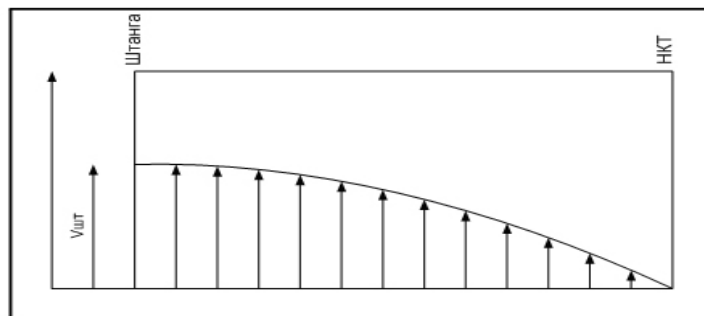


Рисунок 4. Профиль скорости жидкости в кольцевом пространстве НКТ при  $D_{нкт} = D_{сшн}$

Описанный способ можно использовать для расчета в первом приближении минимальной нагрузки. Нами был проведен расчет нагрузок для скважин Тарасовского и Гремихинского месторождений, вязкость эмульсии в скважинах этих месторождений 10-1200 мПа·с. Алгоритм расчета и оценки адекватности предложенного метода приведен ниже.

1. На основе параметров технологического режима скважин, физических свойств водонефтяной эмульсии и значений минимальной нагрузки по динамограмме, строится график зависимости динамической вязкости от содержания воды.

2. Затем берется другая выборка скважин того же пласта, и, исходя из значения средней обводненности нефти, по построенной зависимости определяется вязкость эмульсии в этих скважинах.

3. Зная вязкость, режимные параметры второй выборки скважин и решая обратную задачу, можно получить минимальную нагрузку на оборудование при ходе вниз для каждой из этих скважин.

4. После сравнения полученных значений  $F_{мин}$  со значениями, найденными по действительной динамограмме, проводится оценка степени близости этих значений.

5. На последнем шаге находится максимальная нагрузка по известным методикам.

Результат сравнения значений минимальной нагрузки показан в таблице 1.

Таблица 1

Результат сравнения значений минимальной и максимальной нагрузок, полученных расчетным путем, с данными промысловой динамограммы

Вязкость, Па*с	$P_{\min}$ , кгс	$P_{\min}$ по динамограмме, кгс	Ошибка, %	$P_{\max}$ , кгс	$P_{\max}$ по динамограмме, кгс	Ошибка, %
0.21	2158	2000	-7.89	3884	3800	-2.21
0.30	2539	2700	5.98	4062	4200	3.30
0.46	1772	1800	1.54	4070	4300	5.35
0.51	2050	2200	6.82	4715	4500	-4.78
0.60	1788	1850	3.35	4165	4400	5.34
0.63	1580	1700	7.06	3950	4100	3.66
0.71	1890	1820	-3.85	4820	4700	-2.54
0.84	1700	1800	5.56	4590	4900	6.33
0.90	1610	1700	5.29	4991	4850	-2.91
1.05	1590	1680	5.36	4929	4900	-0.59
1.10	1542	1600	3.63	4934	4800	-2.80
1.20	1832	1900	3.56	5862	5600	-4.68

Из таблицы 1 видно, что относительная ошибка расчета минимальной нагрузки для указанного интервала вязкости не превышает 8 %, причем погрешность существует и в ту, и в другую сторону, что говорит об адекватности предлагаемой методики расчета эффективной вязкости, и о возможности применения описанного способа расчета минимальной и максимальной нагрузки с использованием карты эффективной вязкости, составленной для скважин, оборудованных УСШН.

### Литература

1. Романова Н.А., Алиев З.З., Буранчин А.Р. Вязкость водонефтегазовой эмульсии и ее влияние на эффективность работы глубиннонасосных установок // Нефтегазовое дело. – 2009. – Т. 7. - № 1. – С. 43-48
2. Уразаков К.Р. Эксплуатация наклонно-направленных насосных скважин. М., Недра, 1993. - 169 с.