

Н. Х. Зиннатуллин, И. М. Нафиков, А. И. Красноперова,
Г. Н. Зиннатуллина

ВОДНЫЕ РАСТВОРЫ КМЦ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ БУРЕНИИ

Ключевые слова: кривая течения, вязкость, добавки КМЦ, буровой раствор.

Определены реологические свойства водных растворов КМЦ-300, КМЦ-600 различной концентрации. Определены влияние высокоминерализованной пластовой воды на вязкостные свойства бурового раствора из иджеванского натриевого бентонитового глинопорозка.

Keywords: flow curve, viscosity, sodium carboxymethyl cellulose additive, mud-laden water.

Reologic properties of the water solution of sodium carboxymethyl cellulose-300, sodium carboxymethyl cellulose-600 with different concentration were defined. Influence of highly mineralized oil-field water on viscosity properties of mud-laden water from idjevanski natrium aqua-gel were identified.

В предыдущих работах авторов были исследованы гидродинамика призабойной зоны [1], гидродинамика кольцевого канала [2] и кавернообразование на стенке буровой скважины [3]. В этих работах по умолчанию была использована модель вязкой жидкости. Однако буровые растворы являются сложными реологическими системами.

В геологическом разрезе на площадях РТ преобладают высокоминерализованные подаемные воды хлор-кальциево-магниевого типа. Минерализованные пластовые воды в процессе проходки скважин ухудшают качество глинистых растворов. Растворы становятся нестабильными.

Применение таких растворов приводит к ухудшению условий проводки скважин, росту осложнений, снижению показателей работы трубопроводов и долот. В конечном счете, резко падают технико-экономические результаты в целом по скважине.

Как известно, эффективным реагентом для обработки минерализованных растворов является КМЦ [4].

Для обработки буровых растворов применяют несколько марок КМЦ, различающихся в основном степенью полимеризации. В связи с этим нами были исследованы водные растворы КМЦ-300 и КМЦ-600, с целью выявления степени полимеризации на реологические свойства.

Для получения реологических кривых течения используются, в основном, ротационные и капиллярные вискозиметры. Для исследования реологических свойств глинистых растворов приборы ротационного типа мало пригодны вследствие сепарации твердых частиц в поле центробежных сил [5]. Поэтому нами был использован капиллярный вискозиметр постоянного давления.

Обработка результатов измерений велась методом Рабиновича-Муни, позволяющим исключить влияние начального участка капилляра. Определение истинных значений напряжения сдвига τ_u и скорости сдвига $\dot{\gamma}_u$ производилось по формулам [6, 7]:

$$\tau_u = \frac{(\Delta p_{\text{дл}} - \Delta p_{\text{кор}})R}{2(L_{\text{дл}} - L_{\text{кор}})}, \quad (1)$$

$$\dot{\gamma}_u = \frac{3q}{\pi R^3} + \frac{\Delta p R}{2L} \frac{d\left(\frac{q}{\pi R^3}\right)}{d\left(\frac{\Delta p R}{2L}\right)}. \quad (2)$$

Последняя формула может быть видоизменена:

$$\dot{\gamma}_u = \frac{3n+1}{4n} \frac{4q}{\pi R^3}, \quad (3)$$

Здесь $\Delta p_{\text{дл}}$, $\Delta p_{\text{кор}}$ - соответственно перепад давления в длинном и коротком капиллярах; $L_{\text{дл}}$, $L_{\text{кор}}$ - соответственно длина длинного и короткого капилляров; R - радиус капилляра; q - объемный расход жидкости; n - реологическая константа жидкости.

Для изменения давления применялись образцовые манометры. Регулирование температуры осуществлялось термостатом марки ТС-24М. Расход измерялся объемным методом. Производилась оценка возможных погрешностей измерения.

Реологические кривые течения КМЦ-300, 600 приведены на рис. 1, 2. Как видно из этих рисунков, кривые течения водных растворов КМЦ, построенные в двойных логарифмических координатах, имеют S-образную форму, что хорошо согласуется с теоретическими предпосылками.

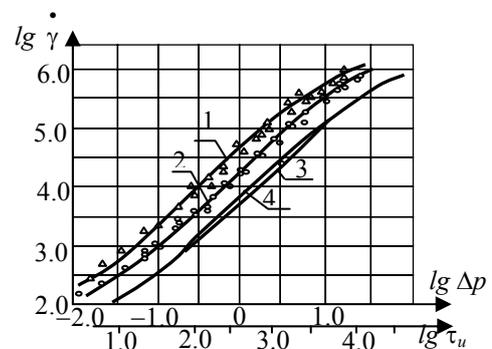


Рис. 1 – Реологическая кривая течения для 1.0 % водного раствора КМЦ-300: 1 – короткий капилляр, 2 – длинный капилляр, 3 – кривая течения, 4 – истинная кривая течения

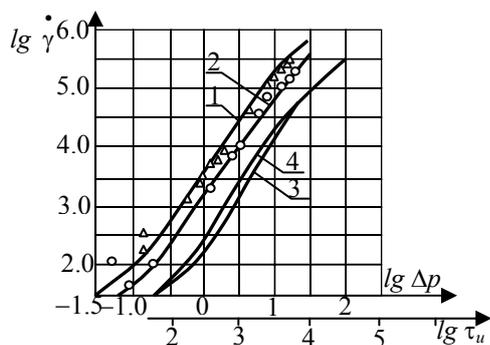


Рис. 2 – Реологическая кривая течения для 2,5 % водного раствора КМЦ-600: 1 – короткий капилляр, 2 – длинный капилляр, 3 – кривая течения, 4 – истинная кривая течения

Для всех растворов были достигнуты области наименьшей μ_{∞} и наибольшей μ_0 ньютоновской вязкости. Увеличение концентрации привело к расширению зоны аномальной вязкости $\mu_{эф}$ за счет снижения значения скорости сдвига, соответствующего концу наибольшей ньютоновской вязкости.

Известно, что для растворов вязкость зависит от соотношения интенсивности теплового движения и скорости сдвига. Роль интенсивности теплового движения тем более, чем разбавление раствор. Поэтому, область эффективной вязкости для разбавленных растворов наступает при более высоких значениях скоростей сдвига, чем для растворов более высокой концентрации (1,0 % - КМЦ-300 $\lg \dot{\gamma}_u \leq 2,8$; 2,5 % - КМЦ-300 $\lg \dot{\gamma}_u \leq 2,5$; 0,5 % - КМЦ-600 $\lg \dot{\gamma}_u \leq 2,6$; 2,5 % - КМЦ-600 $\lg \dot{\gamma}_u \leq 2,1$).

Эффект аномалии вязкости для растворов КМЦ объясняется большей частью ориентационными процессами. Область наименьшей ньютоновской вязкости наступает при $\lg \dot{\gamma}_u \leq 5,2$.

Инвариантные кривые течения $\tau_u(\dot{\gamma}_u)$ растворов КМЦ в довольно широком диапазоне изменения скорости сдвига могут быть описаны степенным уравнением типа:

$$\tau_u = K \left| \dot{\gamma} \right|^{n-1} \cdot \dot{\gamma}, \quad (4)$$

где K и n – реологические константы жидкости.

При исследовании выше указанных растворов были получены реологические константы, которые представлены в табл.1.

Как видно из таблицы 1, с увеличением степени полимеризации растет значение вязкости. Это объясняется тем, что вязкость полимеров в значительной мере зависит от длины цепи молекулы. Для перемещения всей макромолекулы необходимо, чтобы в результате перемещений большего числа ее участков произошло

перемещение центра тяжести макромолекулы. Чем больше длина молекулы, тем затруднительнее такое перемещение.

Таблица 1

Концентрация КМЦ	1,0%: КМЦ-300	2,5%: КМЦ-300	0,5%: КМЦ-600	2,5%: КМЦ-600
Константы				
$K \text{ Па}\cdot\text{с}^n$	6,0	1,0	4,0	26
n	0,80	0,67	0,80	0,48
пределы изменения $\lg \dot{\gamma}_u$	2,8÷5,2	2,5÷5,2	2,6÷5,2	2,1÷5,2

Необходимо отметить, что степенное уравнение (4) описывает только зону эффективной вязкости.

Были проведены исследования течения раствора из иджеванского натриевого бентонитового глинопорошка, приготовленного по методу паст, с добавлением КМЦ. Вязкостные свойства буровых растворов требуются и при определении гидравлических параметров скважин [8].

Как известно, при высокой концентрации КМЦ свойства суспензии определяют сольватные оболочки, создаваемые натриевыми солями КМЦ, а природа поверхности глинистых частиц практически не проявляется.

Раствор по методу пасты готовился следующим образом: было взято 50г КМЦ-600 и разведено в 1 литре водопроводной воды (из расчета 0,5 % КМЦ на 10 л воды), 500 г иджеванского глинопорошка и приготовлена паста, которая была оставлена на сутки. Затем паста перемешивалась в глиномешалке в течение одного часа, после чего была разбавлена водопроводной водой до 10 л раствора. Полученный исходный раствор имел в своем составе 0,5 % КМЦ-600 и 5 % иджеванского порошка.

В глинистых растворах с течением времени идет одновременно структурообразование и осаждение. Это обстоятельство требует до эксперимента предварительной обработки глинистых растворов. Перед началом эксперимента глинистый раствор взбалтывался и просеивался через сито (диаметр отверстия 0,5 мм), а затем нагревался до необходимой температуры. После этого раствор перемешивался пропеллерной мешалкой в течение 3 минут. Подготовленный таким образом глинистый раствор заливался в бомбу капиллярного вискозиметра и термостагировался в течение 6 минут.

Нами были исследованы реологические свойства исходного раствора, приготовленного по методу паст, и при вводе в этот раствор 3 % и 10 % высокоминерализованной пластовой воды плотностью $1,185 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Как установлено, при добавлении минерализованной воды в исходный раствор в начальный период наблюдается резкое загустевание глинистого раствора связанное со

структурообразованием. С течением времени этот эффект значительно снижается. Эксперименты проводились при рабочих градиентах скорости сдвига, и полученные данные представлены на рис. 3.

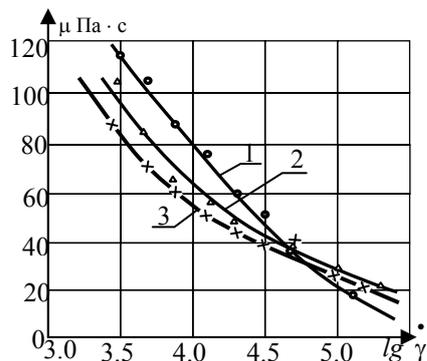


Рис. 3 – Реологические свойства бурового раствора: 1 – исходный раствор, 2 – исходный раствор + 3 % пластовой воды, 3 – исходный раствор + 10 % пластовой воды

В исследованной области для всех растворов наблюдается аномалия вязкости. Причем вязкость 3 % и 10 % минерализованных растворов при значениях $\lg \dot{\gamma} = 3,0 \div 4,5$ несколько ниже, чем при для исходного раствора, а при $\lg \dot{\gamma} > 4,5$ примерно одинаковая.

Таким образом, реологические свойства минерализованных растворов, обработанные КМЦ-600 по методу паст, в области $\lg \dot{\gamma} = 3 \div 5$ мало отличается от свойств исходного раствора.

Реологические свойства буровых растворов требуются и для анализа гидродинамической обстановки в скважинах, использующих пульсационную технологию [9].

Литература

1. Н.Х. Зиннатуллин, И.М. Нафиков, Г.Н. Зиннатуллина. Вестник КГАУ, 3, 78-80 (2011).
2. Н.Х. Зиннатуллин, И.М. Нафиков, Р.Г. Галимуллин, Г.Н. Зиннатуллина. Вестник КГАУ, 1, 89-92 (2012).
3. Н.Х. Зиннатуллин, И.М. Нафиков, Р.Г. Галимуллин, Г.Н. Зиннатуллина. Вестник КГАУ, 3, 83-86 (2012).
4. Н.Г. Коваленко, Н.Х. Зиннатуллин, Л.В. Макаров. Нефтяное хозяйство, 5, 56-58 (1987).
5. А.Я. Малкин, А.Е. Чалых. Диффузия и вязкость полимеров. Методы измерения. М. Химия, 1979, 303 с.
6. Н.Х. Зиннатуллин, К.Ю. Вачагин, Н.В. Тябин. Химическая промышленность, 8, 22-24 (1968).
7. У.Л. Уилкинсон. Неньютоновские жидкости. М.: Мир, 1964, 318 с.
8. К.Х. Гильфанов, Н.В. Богданова, И.Ф. Сибгатуллин. Вестник КТУ, 14, 3, 108-113 (2011).
9. Н.Х. Зиннатуллин, Р.Ф. Исмагилова, А.И. Гурьянов, А.А. Синявин. Вестник КТУ, 15, 2, 62-66 (2012).

© Н. Х. Зиннатуллин – д-р техн. наук, проф. каф. процессов и аппаратов химической технологии КНИТУ, zguln@yandex.ru; И. М. Нафиков – канд. техн. наук, доц. той же кафедры; А. И. Красноперова – ст. препод. каф. энергообеспечения предприятий и энергоресурсосберегающих технологий КГЭУ; Г. Н. Зиннатуллина – канд. техн. наук, доц. каф. промышленной безопасности КНИТУ.