

УДК 622.244.44

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИБОРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЫХ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Халявкин Ф.Г., Оника С.Г., Бабец М.А. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь)

В статье приведен анализ применения при бурении скважин буровых промывочных жидкостей и контроля их качества. Изложены пути и способ совершенствования приборного обеспечения для контроля технологических параметров этих жидкостей в полевых условиях.

Введение

В последнее время в Республике Беларусь наметилась тенденция использования при бурении скважин на воду, твердые полезные ископаемые, нефть и газ покупаемого импортного оборудования, в частности, приборов для контроля технологических процессов бурения и качества буровых промывочных жидкостей. Причиной этому является использование отечественными организациями не отвечающей международным стандартам лаборатории контроля параметров глинистых растворов типа ЛГР-3, которая имелась на каждой буровой, и в настоящее время закупается в России [1].

В связи с этим нами предприняты шаги по доработке и совершенствованию приборного обеспечения замеров качества буровых промывочных жидкостей. Это позволит производить полевой контроль более оперативным и менее трудоемким способом, без приобретения дорогостоящего импортного оборудования.

Результаты исследований

Реология буровых промывочных жидкостей изучалась многими исследователями. Ими разработаны математические зависимости (модели) для описания и расчетов параметров этих растворов. Наиболее широкое применение для гидравлических расчетов процесса бурения нашла обобщенная модель Кэссона-Шульмана, которая учитывала в расчетах коэффициент динамического напряжения сдвига и пластической вязкости, и предназначена для расчетов реологии классических глинистых буровых растворов [2].

В Республике Беларусь разработаны и внедрены в практику бурения органогенные промывочные жидкости на основе природных материалов торфа и сапропеля, имеющие свою реологическую специфику. Исследования, проведенные И.В. Косаревич, позволили предложить производству модель, сопоставимую с обобщенной моделью Кэссона-Шульмана. Разработанная модель включает в себя четыре параметра, подлежащие определению: вязкость разрушенной структуры, мера консистенности, показатель нелинейности и коэффициент деградации. Определение этих параметров предполагает полное приборное обеспечение буровых работ, включающее реометры-вискозиметры ротационного или капиллярного типа как в стационарном, так и в переносном исполнении [3].

В настоящее время при бурении скважин из реологических параметров различных глинистых растворов определяют три основных показателя: условную вязкость, кинематический и динамический коэффициенты.

Условная вязкость – это время истечения 946 мл (одна кварта исследуемой буровой промывочной) жидкости из воронки Марша, которая представляет собой конический сосуд объемом 1500 мл с капилляром внизу. Время истечения дистиллированной воды при температуре 20 °С из воронки через капилляр составляет $26 \pm 0,5$ с.

Также определяют условную вязкость в градусах Энглера

$$^{\circ}E = \frac{t_{ж}}{t_{в}},$$

где $t_{ж}$ – среднее опытное значение времени вытекания 500 см^3 исследуемой жидкости, с;
 $t_{в}$ – время истечения 500 см^3 дистиллированной воды, с.

Переход от вязкости в градусах Энглера к кинематическому коэффициенту вязкости производится по формуле Уббелоде

$$\nu = 0,0731 \times ^{\circ}E - \frac{0,0631}{^{\circ}E},$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости, $\text{см}^2/\text{с}$.

Динамический коэффициент вязкости жидкости определяют по формуле

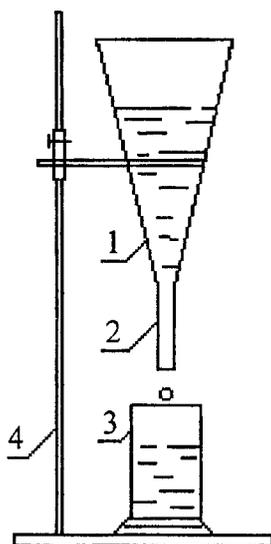
$$\mu' = \nu \cdot \rho,$$

где μ' – динамический коэффициент вязкости жидкости, Па·с;

ρ – плотность исследуемой жидкости, определяемая с помощью ареометра.

В дальнейшем для приведения применяемых размерностей величин в систему единиц СИ в АзНИИ нефтяного хозяйства был разработан стандартный полевой вискозиметр СПВ, представляющий собой емкость конусообразной формы объемом 700 мл, имеющей на конце капилляр с внутренним диаметром 5 мм. Замеряемый объем жидкости составлял 500 мл [4].

В настоящее время на предприятиях, осуществляющих бурение скважин, применяют одну из модификаций выше описанного прибора – вискозиметр СПВ-5 с пластиковым корпусом (рисунок 1).



1 – конусообразная емкость; 2 – капилляр; 3 – кварта; 4 – штатив

Рисунок 1 – Схема устройства вискозиметра СПВ-5

По мнению ряда авторов, все вискозиметры типа СПВ дают не структурную η , а кажущуюся эффективную вязкость η' . Величину структурной вязкости можно определить по формуле

$$\eta = \eta' - \frac{r}{v_{\text{ср}}} \cdot \tau_0,$$

где r – радиус капилляра;

$v_{\text{ср}}$ – средняя скорость движения жидкости по капилляру;

τ_0 – динамическое напряжение сдвига.

Поэтому важным вопросом при эксплуатации вискозиметра СПВ-5 является значение средней скорости $v_{\text{ср}}$ и режима движения жидкости в капилляре. Замеры условной вязкости глинистых растворов в диапазоне 25-40 с позволили определить величины средней скорости для условной вязкости 25, 30, 35, 40 с. Вычисленные значения числа Рейнольдса показали, что движение жидкости в капилляре носит ламинарный характер, так как число Рейнольдса значительно меньше величины, при которой ламинарное движение жидкости переходит в турбулентное (таблица).

Таблица – Средняя скорость, расход и число Рейнольдса при различной условной вязкости жидкости по СПВ-5

Условная вязкость, с	Средняя скорость истечения, м/с	Число Рейнольдса	Расход жидкости, м ³ /с
25	1,02	650	0,000020
30	0,85	400	0,000016
35	0,73	220	0,000014
40	0,64	-	0,000012

Учитывая, что на практике применяются вискозиметры с конической и призматической формой резервуара, рассмотрим, как это влияет на истечение жидкостей. Из гидравлики известно дифференциальное уравнение процесса истечения жидкости из резервуара произвольной формы

$$F(z)dz = Q_z dt,$$

где $F(z)$ – площадь свободной поверхности жидкости в резервуаре как функция напора z ;

Q_z – расход жидкости через выходное отверстие при напоре z ;

dz – понижение уровня в резервуаре за время dt .

Процесс истечения жидкости за бесконечно малый промежуток времени t в пределах произвольного уровня H_0-H можно представить интегральным уравнением, полученным на основании решения выше приведенного уравнения

$$t = \frac{1}{\mu f \sqrt{2g}} \int_H^{H_0} \frac{F(z)dz}{\sqrt{z}},$$

где μ – коэффициент расхода жидкости;

f – площадь капилляра;

g – ускорение силы тяжести.

Для вискозиметра СПВ-5, имеющего коническую форму резервуара, время истечения жидкости составит

$$t = \frac{1}{\mu f \sqrt{2g}} \int_H^{H_0} \frac{\pi(z \operatorname{tg} \alpha)^2}{\sqrt{z}} \cdot dz,$$

где α – угол конического резервуара, град.

Подставив в данное уравнение его значения, и приняв $\mu f \sqrt{2g} = A$, получим $t = \frac{110,6}{A}$.

Так как стандартное время истечения жидкости (дистиллированной воды) равно 15 с, значение величины A составит $A = \frac{110,6}{15} = 7,373$.

Для обеспечения равномерности скорости оседания уровня в коническом резервуаре вискозиметра с уменьшающимся по высоте сечением существует уравнение, решая которое можно определить радиус и диаметр верхнего сечения жидкости

$$R = \sqrt[4]{\frac{2 \mu^2 d^4}{8 v^2}} \cdot \sqrt[4]{z},$$

где d – диаметр капилляра;

v – средняя скорость опускания уровня жидкости в резервуаре.

Для вискозиметров типа СПВ, имеющих диаметр капилляра 0,5 см, среднюю скорость опускания уровня за 15 с от $z_0 = 22,5$ см на 8 см и при коэффициенте расхода жидкости $\mu = 0,95$ радиус верхнего сечения жидкости составил $R = 4,85$ см, а угол конического резервуара $\alpha = 12,13^\circ$. При $\mu = 0,85$ и тех же условиях $R = 4,57$ см и $\alpha = 11,5^\circ$. Следовательно, для обеспечения равномерности истечения жидкости из конических вискозиметров необходимо уменьшить конусность резервуара, вплоть до применения призматического резервуара.

Расчетная формула для определения времени истечения жидкости призматического резервуара упрощается и имеет вид

$$t = \frac{F \cdot z (\sqrt{H_0} - \sqrt{H})}{\mu \cdot f \cdot \sqrt{2g}}.$$

Как уже отмечалось, приборное оборудование для контроля технологических процессов и качества буровых жидкостей закупается за границей. Поэтому предлагается в качестве призматического резервуара вискозиметра использовать пластиковую бутылку емкостью 1,5-2,0 литра, например, из-под минеральной воды «Минская-4», которая имеется на каждой буровой.

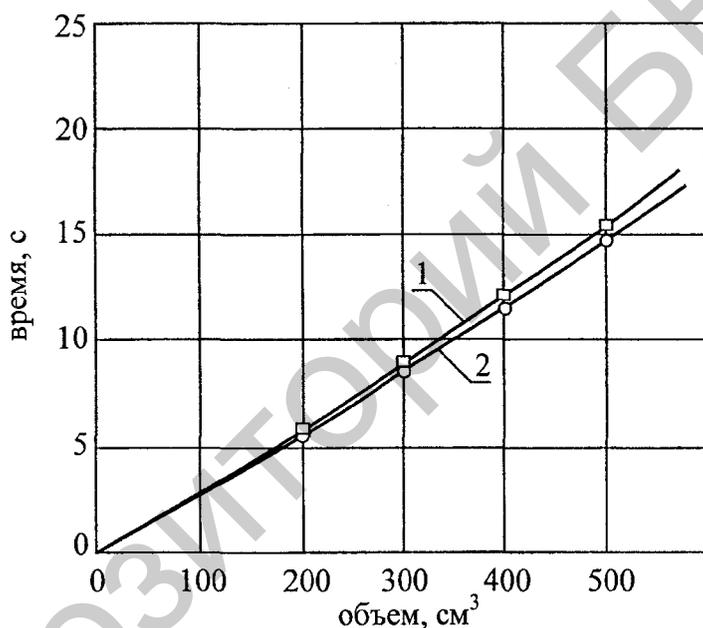
При устройстве такого вискозиметра дно у бутылки необходимо обрезать, и полученную емкость с ввернутым вместо крышки на резьбе капилляром перевернуть и закрепить на штативе. Отрезанное дно после множественной перфорации подручными средствами превращается в сито для очистки буровой промывочной жидкости перед замером.

В качестве капилляра можно использовать унифицированный латунный капилляр «Babe», а при его отсутствии трубочки шариковых ручек. Капилляр вставляется в крышку, которая навинчивается на горлышко бутылки.

Предварительно нанесенные на прозрачный пластик риски с отметками сверху вниз позволят зафиксировать время истечения стандартных объемов без мерных сосудов.

Пригодность емкости для использования проверяется по тарифовочным графикам $Q = f(t)$ в координатах $t = f(Q)$. Совпадения результатов замеров до 1 с подтверждают возможность ее использования для технологических целей.

На рисунке 2 приведены калибровочные графики вискозиметра СПВ-5 и вискозиметра из стандартной пластиковой бутылки из-под минеральной воды емкостью 1 л, обрезанной до 0,7 л с пластиковым капилляром, имеющим внутренний диаметр 5 мм. Графики построены по данным пяти замеров. Из графиков видно, что замеры времени истечения стандартных объемов из этих вискозиметров совпадают до ± 1 с.



1 – вискозиметр СПВ-5; 2 – вискозиметр из пластиковой бутылки

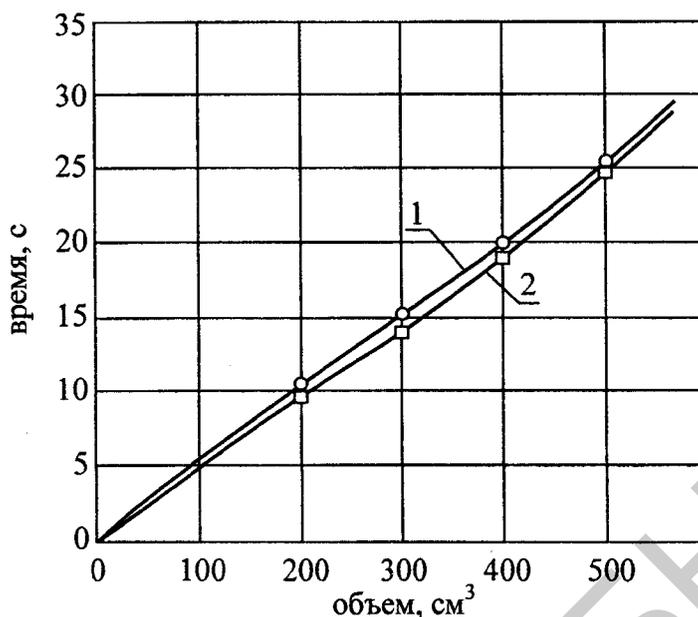
Рисунок 2 – Калибровка вискозиметров по воде

На рисунке 3 показаны калибровочные графики тех же вискозиметров на глинистом растворе ПБМВ с условной вязкостью 25 с.

Таким образом, вопрос полевого замера условной вязкости буровых промывочных жидкостей буровыми организациями Республики Беларусь можно решить без приобретения дорогостоящих импортных вискозиметров.

Заключение

При бурении скважин на нефть, газ, воду и другие полезные ископаемые широко применяют буровые промывочные жидкости, в том числе и на основе природных материалов: глин, торфа, сапропеля и др. Контроль качества жидкостей на буровых осуществляют с помощью приборов – вискозиметров конструкции Марша и СПВ, имеющих коническую форму резервуара. Эти вискозиметры закупают за границей.



1 – вискозиметр СПВ-5; 2 – вискозиметр из пластиковой бутылки

Рисунок 3 – Калибровка вискозиметров на глинистом растворе ПБМВ

Проведенные исследования и расчеты показали, что для контроля качества буровых жидкостей в полевых условиях непосредственно на буровой можно изготовить простой по конструкции вискозиметр с призматическим резервуаром из пластиковой бутылки из-под минеральной воды емкостью 1-1,5 л. Испытания и калибровка такого вискозиметра показали, что его применение вполне приемлемо.

Список использованных источников

1. Техническое описание и инструкции по эксплуатации приборов из комплекта полевой лаборатории глинистых растворов типа ЛГР-3.
2. Булатов, А.И. Технология промывки скважин / А.И. Булатов, Ю.М. Проселков, В.И. Рябченко. – М.: Недра, 1981. – 301 с.
3. Бабец, М.А. Буровые промывочные жидкости / М.А. Бабец, Т.И. Саноцкая. – Минск, БНТУ, 2012. – 73 с.
4. Винниченко, В.М. Технология бурения геологоразведочных скважин: справочник бурильщика / В.М. Винниченко, Н.М. Максименко. – М.: Недра, 1988. – 149 с.

Haliavkin F.G., Onika S.G., Babets M.A.

Improvement of instrument supply in order to control technological parameters of drilling washing liquids

The article introduces the analysis of application of drilling washing liquids during the drilling of boring wells and the control of their quality. Methods and ways of improvement of instrument supply to control technological parameters of liquids in the field conditions are given.

Поступила в редакцию 03.04.2014 г.