

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Нефтегазоразработка и гидропневмоавтоматика»

Л. К. Бруй, Н. В. Шемлей, Т. В. Атвиновская

БУРОВЫЕ И ТАМПОНАЖНЫЕ РАСТВОРЫ ПРАКТИКУМ

Электронный аналог печатного издания

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области горнодобывающей
промышленности в качестве практикума
по выполнению лабораторных работ
по курсу «Буровые и тампонажные растворы»*

Гомель 2019

УДК 622.24.063(075.8)
ББК 33.361я73
Б89

Рецензенты: зам. ген. директора по геологии РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» канд. техн. наук *П. П. Повжик*;
зав. отделом техники и технологии воздействия на пласт БелНИПИнефть
канд. техн. наук *И. В. Лымарь*

Бруй, Л. К.
Б89 Буровые и тампонажные растворы : практикум / Л. К. Бруй, Н. В. Шемлей, Т. В. Атвиновская ; М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – 56 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.
ISBN 978-985-535-433-9.

Изложены основные сведения о технологических параметрах буровых и тампонажных растворов и приборах для измерения их значений, что помогает студенту в их изучении, а также позволяет научиться определять и оценивать полученные значения.

Для студентов специальности 1-51 02 02 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» дневной и заочной форм обучения.

УДК 622.24.063(075.8)
ББК 33.361я73

ISBN 978-985-535-433-9

© Бруй Л. К., Шемлей Н. В.,
Атвиновская Т. В., 2019
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2019

Лабораторная работа № 1

Параметры буровых растворов и методы их определения: плотность, условная вязкость

Цель работы: изучить методы определения плотности и вязкости бурового раствора; ознакомиться с приборами для их контроля.

Теоретическая часть

Для проектирования технологии промывки скважин необходимо иметь четкие представления обо всех свойствах буровых растворов, влиянии этих свойств на выполнение буровым раствором тех или иных функций, а также о существующих показателях и методиках оценки различных свойств буровых растворов.

Последнее имеет весьма важное значение и с позиций контроля качества бурового раствора в процессе бурения, задачей которого является получение объективной информации об отклонениях значений показателей относительно заданного регламента и принятие соответствующих мер по восстановлению (регенерации) свойств бурового раствора.

Контроль за свойствами бурового раствора в процессе бурения необходим также для анализа влияния его свойств на технико-экономические показатели буровых работ с целью дальнейшего улучшения качества.

Важнейшими свойствами большинства типов буровых растворов являются следующие:

- плотность;
- структурно-механические, реологические, фильтрационно-коркообразующие, электрохимические и триботехнические свойства;
- содержание твердой фазы, коллоидных глинистых частиц, абразивных частиц (песка), нефти и газа;
- седиментационная устойчивость;
- ингибирующая, консолидирующая (крепящая), недиспергирующая, закупоривающая и другие способности.

1. Плотность бурового раствора

Теоретическая часть

Плотность бурового раствора ρ , кг/м³, – это отношение массы бурового раствора к его объему.

Различают кажущуюся и истинную плотности. Первая характеризует раствор, выходящий из скважины и содержащий газообразную фазу, а вторая – раствор без газообразной фазы.

Для измерения плотности могут быть использованы:

- ареометр АБР-1;
- весы рычажные (плотномер ВРП-1);
- пикнометр.

1.1. Определение плотности раствора ареометром АБР-1

Ареометр АБР-1 состоит из следующих основных частей: съемного груза, мерного стакана, поплавка со стержнем (рис. 1.1). К поплавку крепится мерный стакан с помощью штифтов. На стержне имеются две шкалы: основная, по которой измеряют плотность раствора, и поправочная, с помощью которой определяют поправку по воде. Прибор включает в себя ведро для воды. Крышка ведерка служит пробоотборником для раствора.

Порядок работы

1. При измерении плотности бурового раствора используют как пресную, так и минерализованную воду.

2. При использовании пресной воды плотностью 1000 кг/м³ чистый мерный стакан с объемом пробы $78,5 \pm 1$ см³ заполняют буровым раствором и соединяют с поплавком поворотом последнего до упора.

3. Стакан снаружи тщательно обмывают водой, погружают его в ведро с водой и делают отсчет плотности по основной шкале (по делению, до которого ареометр опустился в воду).

4. При использовании минерализованной воды делают поправку (по поправочной шкале) на ее плотность, для чего заполняют мерный стакан водой и соединяют его с поплавком. Погружают прибор в ведро с водой. Деление на поправочной шкале, до которого ареометр погрузился в воду, покажет алгебраическую величину поправки (или «+», или «-»).

5. Плотность бурового раствора в случае применения минерализованной воды вычисляют по формуле

$$\rho = \rho_{\text{осн}} + \Delta\rho,$$

где ρ – плотность бурового раствора, кг/м^3 ; $\rho_{\text{осн}}$ – отсчет плотности по основной шкале, кг/м^3 ; $\Delta\rho$ – поправка (отсчет плотности по поправочной шкале), кг/м^3 .

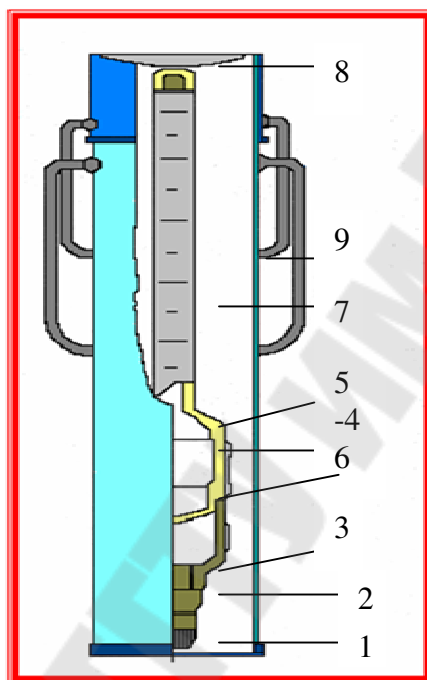


Рис. 1.1. Ареометр АБР-1:

1 – съемный груз; 2 – полиэтиленовая заглушка; 3 – металлический балласт; 4 – мерный стакан; 5 – крышка поплавка; 6 – доньшко поплавка; 7 – стержень с нанесенными на нем основной и поправочной шкалами; 8 – пробка; 9 – ведро

Предел допускаемой дополнительной погрешности при изменении температуры испытуемого раствора на каждые $10\text{ }^\circ\text{C}$, начиная с $20 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$, – не более 2 кг/м^3 ; при влиянии климатических факторов внешней среды на изменение температуры испытуемого раствора – на каждые $10\text{ }^\circ\text{C}$, начиная с $20 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$, – не более 10 кг/м^3 .

Калибруют ареометр чистой пресной (дистиллированной) водой при температуре $20 \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$. При этом показание прибора должно быть равно 1000 кг/м^3 .

1.2. Определение плотности раствора рычажными весами ВРП-1

Рычажные весы – плотномер ВРП-1 (рис. 1.2) состоят из подставки 1 и подвижной части, представляющей собой рычаг 2 с жестко закрепленным на нем мерным стаканом 3 с крышкой 4. Подвижная часть весов с помощью одной из призм 5 опирается на вкладыш 6, укрепленный на подставке.



Рис. 1.2. Рычажные весы – плотномер ВРП-1

На рычаге весов нанесены две шкалы 7 с разными диапазонами измерений: верхняя шкала – от 800 до 1600 кг/м³; нижняя – от 1600 до 2600 кг/м³.

Порядок работы

1. Заполняют чашку испытываемой пробой доверху (для удаления пузырьков воздуха), постукивают пальцем по чашке.
 2. Устанавливают крышку (излишек раствора должен выйти наружу через отверстие).
 3. Очищают внешнюю поверхность весов от раствора.
 4. Устанавливают весы на основание.
 5. Перемещают рейтер до равновесного состояния, которое определяют по уровню.
 6. Считывают показания величины плотности раствора со шкалы по краю рейтера.
- Калибровку прибора производят замером плотности пресной воды.

При определении реальной плотности аэрированного раствора в полевых условиях может быть использован следующий метод:

- весы заполняют водой;
- устанавливают крышку (излишек воды должен выйти наружу через отверстие);
- сливают воду из весов в сосуд;
- повторяют ту же операцию с раствором;
- тщательно смешивают раствор с водой для уменьшения вязкости и выхода пузырьков воздуха;
- измеряют полученную плотность, умножают ее значение на два и вычитают единицу, (плотность воды), получают значение плотности раствора, приближенное к реальному.

1.3. Определение плотности фильтрата бурового раствора пикнометром

Пикнометр представляет собой небольшую стеклянную колбочку с риской на узкой части и плотно притертой пробкой.

Перед определением плотности фильтрата бурового раствора проверяют объем пикнометра. Для этого взвешиванием определяют массу чистого сухого пикнометра с пробкой m_1 с точностью до 0,01 г. После этого заполняют пикнометр до отметки дистиллированной водой, закрывают пробкой, обтирают снаружи и взвешивают. Массу пикнометра с водой – m_2 .

Объем пикнометра:

$$V = m_2 - m_1.$$

Чтобы определить плотность фильтрата бурового раствора, его наливают до отметки (по нижнему мениску) в пикнометр, который закрывают пробкой. Пикнометр обтирают снаружи и взвешивают. Массу обозначают как m_3 . Масса фильтрата бурового раствора, налитого в пикнометр, определяется по формуле

$$m = m_3 - m_1.$$

Плотность фильтрата:

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

При измерении плотности одним и тем же пикнометром его взвешивают с дистиллированной водой один раз. Пикнометр дает наиболее точные показания.

2. Условная вязкость

Теоретическая часть

Условная вязкость T , с, – величина, косвенно характеризующая гидравлическое сопротивление течению.

Для определения условной вязкости используют вискозиметр ВБР-1 (по ГОСТу) и воронку Марша (по стандарту API). Значения условной вязкости раствора, полученные при измерении этими вискозиметрами, не совпадают.

Условная вязкость раствора зависит и от его температуры.

При бурении глубоких скважин раствор, находящийся в скважине, нагревается, а на поверхности охлаждается. В связи с этим рекомендуется произвести замеры одной и той же пробы раствора при температурах, например, 20–25 °С и 40–50 °С (раствор подогревают на электрической плитке) и сравнить результаты измерений.

Практическая часть

Определение условной вязкости вискозиметром ВБР-1

Условная вязкость УВ, с, определяется временем истечения 500 см³ бурового раствора через вертикальную трубку 2 вискозиметра ВБР-1 из воронки 1, заполненной 700 см³ бурового раствора (промывочной жидкости) (рис. 1.3). В состав ВБР-1 также входят мерная кружка 3 и сетка 4.

Порядок работы

1. Промывают воронку вискозиметра водой.
2. Закрывают отверстие трубки снаружи и наливают в воронку через сетку предварительно перемешанный испытуемый раствор в количестве 700 см³.
3. Подставив мерную кружку под трубку вискозиметра, открывают отверстие трубки, одновременно включая секундомер (при от-

сутствии секундомера время можно засекают по секундной стрелке часов).

4. Значение условной вязкости вычисляют как среднеарифметическое из трех последовательных измерений, отличие между которыми не должно быть более 2 с.

5. В момент заполнения кружки раствором до краев останавливают секундомер.

6. После каждого использования вискозиметр промывают водой.

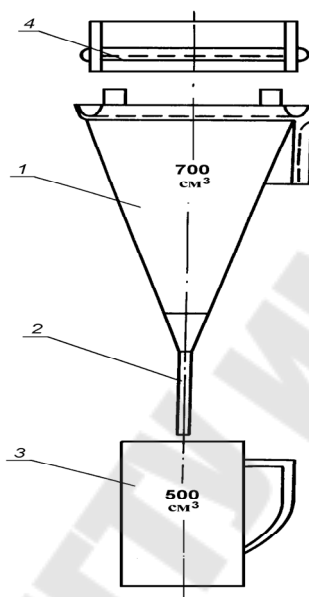


Рис. 1.3. Вискозиметр ВБР-1

Проверку водного числа вискозиметра производят по времени истечения чистой пресной (или дистиллированной) воды объемом 500 см^3 при температуре $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Время истечения должно быть равным $15 \pm 0,5 \text{ с}$. Если значение будет больше 15,5 с, то трубку вискозиметра прочищают, если меньше 14,5 – вискозиметр заменяют.

Если истекающая из трубки струя становится очень тонкой или прерывается, то измерения прекращают, вязкость раствора считают очень большой и в таблице записывают «**Не течет**».

При определении условной вязкости в лабораторных условиях в воронку наливают 200 см^3 раствора и фиксируют время истечения 100 см^3 . Полученное значение $T = 200/100$ умножают на 4.

Лабораторная работа № 2

Параметры буровых растворов и методы их определения: фильтрация, толщина фильтрационной корки

Цель работы: изучить методы определения фильтрации и толщины фильтрационной корки бурового раствора; ознакомиться с приборами для их контроля.

1. Фильтрация

Теоретическая часть

Показатель фильтрации Φ , $\text{см}^3/30 \text{ мин}$, – величина, определяемая объемом дисперсионной среды, отфильтрованной за 30 мин при пропускании бурового раствора через бумажный фильтр определенной площади.

Процессом фильтрации называют процесс разделения фаз дисперсной системы, происходящий при движении системы через пористую среду, размер пор которой того же порядка, что и размер частиц дисперсной фазы, или меньше их.

Показатель фильтрации косвенно характеризует способность бурового раствора фильтроваться через стенки ствола скважины.

Принцип действия всех приборов основан на способности дисперсионной среды бурового раствора фильтроваться под давлением.

Объем фильтрата принято измерять через 30 мин после начала процесса. Логарифмическая зависимость позволяет ускорить измерение: объем фильтрата, выделившийся через 7,5 мин, практически равен половине объема, получаемого после 30 мин фильтрации.

Различают статическую и динамическую фильтрацию. В первом случае единственным видом движения дисперсной системы над фильтрующей поверхностью является ее постепенное поступление в пористую среду. При динамической фильтрации дисперсная система принудительно, например, с помощью мешалки, перемещается относительно фильтрующей поверхности и при достаточно высокой скорости размывает фильтрационную корку. Уменьшение толщины последней вызывает рост скорости фильтрации.

Существующие приборы для измерения фильтрации делятся на работающие под давлением и работающие под вакуумом. Первые

подразделяются на приборы, измеряющие статическую фильтрацию, и приборы, определяющие динамическую фильтрацию (в процессе циркуляции над фильтром). Последние сложны и пока используются лишь в научных исследованиях. К наиболее распространенному в практике бурения прибору относится ВМ-6, в котором фильтрация измеряется в статическом состоянии при перепаде давления 0,1 МПа. За показатель фильтрации принимается количество жидкости, отфильтрованной через круглый бумажный фильтр за 30 мин.

Для измерения показателя фильтрации в стандартных условиях могут быть использованы:

- прибор ВМ-6;
- фильтр-пресс АРІ (АНИ) (США).

Определение фильтрации при повышенных температурах и давлениях проводят на фильтр-прессе высокого давления фирмы «BAROID».

Стандартной величиной при измерении показателя фильтрации в отечественной практике является создаваемый перепад давления, равный 0,1 МПа; в зарубежной практике – 0,7 МПа.

Практическая часть

1.1. Определение показателя фильтрации на ВМ-6

Фильтрацию измеряют количеством жидкости, отфильтрованной через круглый бумажный фильтр диаметром 7,5 см за 30 мин при перепаде давления 1 кгс/см^2 и комнатной температуре.

Прибор ВМ-6 (рис. 2.1) состоит из трех основных узлов: кронштейна, фильтрационного стакана с принадлежностями и напорного цилиндра.



Рис. 2.1. Прибор ВМ-6

Фильтрационный стакан на верхнем конце имеет горловину с наружной резьбой и отверстие, нижний конец его имеет расточку диаметром 53 мм, выточку под решетку фильтра и наружную резьбу под поддон. В поддон вложен клапан с резиновой прокладкой. Винтом клапан прижимается к решетке и закрывает ее отверстия.

Избыточное давление в стакане создается весом плунжера с помощью масла.

1.2. Определение показателя фильтрации на фильтр-прессе API (АНИ)

Фильтрационные характеристики бурового раствора и способность формировать стенки скважины определяют с помощью фильтра – пресса API (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Фильтр-пресс API (АНИ)

Порядок работы

1. Устанавливают камеру вверх дном (широким открытым концом вверх) и заполняют ее свежеперемешанным буровым раствором, не доходя до верхнего края 1/4 дюйма (0,6 см).
2. Затем накрывают сухим бумажным фильтром.
3. Переворачивают собранный прибор вертикально и укрепляют в держателе.
4. Помещают чистый сухой градуированный цилиндр под выходное отверстие и открывают впускной клапан.
5. Создают в фильтрационной камере давление 100 фунтов/дюйм² (0,7 МПа) и фильтруют в течение 30 мин.

6. Через 30 мин сбрасывают давление, закрывают впускной клапан и измеряют объем собранного фильтрата в см³. По стандарту АНИ при использовании мини-фильтра-пресса объем собранного фильтрата умножается на 2. Измеряют толщину фильтрационной корки.

При замере показателя фильтрации на мини-фильтре-прессе для перевода к Российскому стандарту (для прибора VM-6) значение фильтрации умножается на 0,8.

При замере на фильтре-прессе полной площади значение фильтрации делится на 2 и умножается на 0,8 (или умножается на 0,4).

1.3. Определение фильтрации при повышенных температурах и давлениях на фильтр-прессе высокого давления фирмы «BAROID»

Для измерения фильтрации при высоких температурах и давлениях используют высокотемпературный фильтр-пресс высокого давления фирмы «BAROID» (рис. 2.3). Фильтр-пресс состоит из термостатированной печи с диапазоном температур 190–5700 F (88–299 °C), ячейки объемом 500 см³ и блока давления с максимальным рабочим давлением 1600 psi (11,33 МПа).

Порядок работы

1. До проведения испытаний подключают нагревательную печь к источнику переменного тока напряжением 220 В.

2. Помещают металлический термометр в гнездо и доводят температуру до необходимого значения.

4. При достижении температуры, заданной с помощью регулятора термостата, загорается сигнальная лампочка.

5. Камеру (ячейку) собирают с нижней части. Для этого необходимо установить резиновое уплотнительное кольцо в корпус ячейки, затем бумажный фильтр, вновь уплотнительное кольцо и закрыть крышкой.

6. Затягивают фиксирующие винты в корпусе камеры, завинчивают нижний (выпускной) клапан до упора.

7. Заполняют камеру предварительно нагретой пробой бурового раствора ($\approx 105 \text{ см}^3$) до уровня не менее 2,54 см от крышки с учетом возможного расширения бурового раствора при нагревании.

8. Порядок сборки верхней части камеры аналогичен сборке нижней части.

9. Опускают ячейку в нагревательную печь и помещают ее на установочный штифт на дне печи. Верхний и нижний клапаны должны быть закрыты.

10. Отворачивают от блока давления обойму для баллончика и вставляют в нее баллончик с CO_2 .

11. Наворачивают обойму обратно на блок и затягивают ее до прокола баллончика.

12. Отворачивают винт регулятора с Т-образной рукояткой и устанавливают необходимое давление. Для определения фильтрации при температурах до $190\text{ }^\circ\text{F}$ ($88\text{ }^\circ\text{C}$) на манометре устанавливают давление 500 psi ($3,54\text{ МПа}$).



Рис. 2.3. Фильтр-пресс высокого давления и температуры фирмы «BAROID»

13. Помещают цилиндр под выпускной клапан и отворачивают его приблизительно на половину оборота для начала фильтрации. Фильтрат отбирают в течение 30 мин, поддерживая заданные значения температуры и давления с максимально возможной точностью.

14. После окончания испытания закрывают оба клапана – впускной и выпускной.

15. Освобождают винт регулятора с Т-образной рукояткой, затем сбрасывают давление из коллектора с помощью спускного крана.

16. Вынимают фиксирующий штифт и снимают блок давления.

17. Вынимают камеру из печи и дают остыть или охлаждают ее в воде.

18. Медленно ослабляют верхний клапан и сбрасывают давление в камере.

19. Освобождают винты, фиксирующие крышку, и снимают ее покачивающими движениями. После освобождения ячейки от раствора снимают нижнюю крышку.

Для получения точного значения объема фильтрата по стандарту API (АНИ) требуется удвоение собранного за 30 мин объема фильтрата.

2. Толщина фильтрационной корки

Теоретическая часть

Фильтрационная корка K , мм, образуется в результате фильтрации жидкой фазы бурового раствора через пористую среду.

Определение толщины фильтрационной корки производится:

- линейкой с миллиметровыми делениями;
- прибором «Игла Вика»;
- штангенциркулем с глубиномером.

Практическая часть

Определение толщины фильтрационной корки прибором «Игла Вика»

Прибор «Игла Вика» (рис. 2.4) состоит из основания 1, стойки 2, в гнезде которой свободно перемещается шток 3, шкалы с миллиметровыми делениями 4, винта 5, держателя 6, указателя 7, пружинного рычага 8 и пестика 9.

Порядок работы

1. Поверхностные слои фильтрационной корки, полученной в процессе определения показателя фильтрации фильтр-прессом, смывают слабой струей воды, после чего кладут на стеклянную пластинку и вместе с ней – на основание прибора.

2. Устанавливают держатель до совпадения указателя с нулем шкалы.

3. Приводят пестик в соприкосновение с поверхностью фильтрационной корки. Затормозив шток пружинным рычагом, снимают отсчет по шкале прибора.

4. Измеряют толщину корки в шести точках и вычисляют среднее значение.

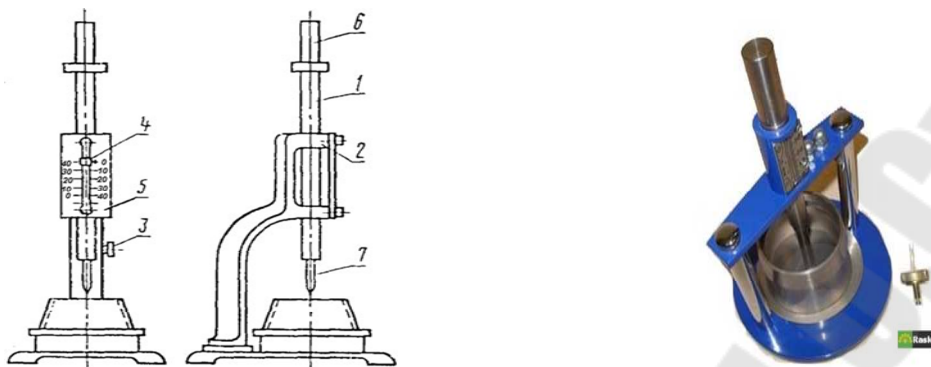


Рис. 2.4. Схема и прибор «Игла Вика» ИВ-2:

1 – цилиндрический металлический стержень; 2 – обойма станины;
3 – стопорное устройство; 4 – указатель;
5 – шкала; 6 – пестик; 7 – игла

Лабораторная работа № 3

Параметры буровых растворов и методы их определения: пластическая вязкость, статическое напряжение сдвига и динамическое напряжение сдвига

Цель работы: изучить методы определения пластической вязкости, статическое напряжение сдвига и динамическое напряжение сдвига бурового раствора; ознакомиться с приборами для их контроля.

Реологические параметры буровых растворов

1. Пластическая вязкость

Теоретическая часть

Условная вязкость, рассмотренная в лабораторной работе № 1, также относится к реологическим параметрам.

Пластическая вязкость $\eta_{пл}$, Па · с, – это условная величина, характеризующая вязкостное сопротивление течению бурового раствора; не зависит от касательных напряжений (давлений прокачивания). Пластическая (структурная) вязкость показывает долю эффективной вязкости, которая возникает вследствие структурообразования в потоке бурового раствора.

Пластическая вязкость не имеет определенного физического смысла, ее невозможно измерить непосредственно на каком-то приборе. Значения $\eta_{пл}$ могут иметь физический смысл только при достижении равновесного состояния бурового раствора (структурообразование = структуроразрушению) при конкретной частоте перемешивания.

Пластическая вязкость определяется графически или расчетным путем по формулам согласно инструкциям к приборам.

2. Предельное статическое напряжение сдвига

Теоретическая часть

Статическое напряжение сдвига (по ГОСТу – СНС, мгс/см² (в системе СГС) или дПа (в системе СИ)); по стандартам API – Gel,

фунт/100 футов², – величина, определяемая минимальным касательным напряжением сдвига, при котором начинается разрушение структуры бурового раствора в покое.

Величина статического напряжения сдвига определяет возможность удержания во взвешенном состоянии частиц шлама и утяжелителя при остановках циркуляции бурового раствора.

Статическое напряжение сдвига характеризует прочность тиксотропной структуры и интенсивность упрочнения ее во времени.

Значения СНС по ГОСТу измеряют на приборах СНС-2 (рис. 3.1) и вискозиметре ВСН-3 (рис. 3.3).



Рис. 3.1. Прибор СНС-2

Значения Gel по API измеряют с помощью вискозиметров FANN или OFITE.

Значения Gel по API в фунт/100 футов² не равны и не могут быть никаким пересчетом размерностей интерпретированы как значения СНС, измеренные по ГОСТу в дПа (система СИ).

При возникновении необходимости перевода единицы измерения статического напряжения сдвига Gel по АНИ фунт/100 футов² (американская система) в дПа (система СИ) используется коэффициент 4,8, т. е. 1 фунт/100 футов² = 4,8 дПа.

Структурно-механические свойства буровых растворов характеризуют коэффициентом тиксотропии:

$$K_T = \text{СНС}_{10\text{мин}} + \text{СНС}_{1\text{мин}}.$$

3. Предельное динамическое напряжение сдвига

Теоретическая часть

Динамическое напряжение сдвига (ДНС, τ_0 , дПа) условно характеризует прочностное сопротивление бурового раствора течению, обусловленное электрическими силами притяжения-отталкивания между сольватированными частицами, и зависит от концентрации и состава дисперсной фазы, наличия электролитов и стабилизаторов; отображает зависимость касательного напряжения от скорости сдвига.

Динамическое напряжение сдвига – это условная величина, характеризующая прочность структурной сетки, которую необходимо разрушить для обеспечения течения бурового раствора; не зависит от касательных напряжений (давления прокачивания) и увеличивается с ростом вязкостного сопротивления.

Предельное ДНС всегда больше предельного СНС, особенно в растворах с большим содержанием высококоллоидных фракций.

Динамическое напряжение сдвига – понятие условное, не имеющее определенного физического смысла, его невозможно измерить непосредственно на каком-то приборе.

Определяется ДНС графически или расчетным путем по формуле

$$\tau_0 = A\varphi,$$

где τ_0 – предельное динамическое напряжение сдвига, дПа; A – константа прибора (указана в паспорте); φ – угол закручивания, градусы.

Практическая часть

Для определения пластической вязкости, статического напряжения сдвига и динамического напряжения сдвига применяются ротационные вискозиметры (общая схема приведена на рис. 3.2; ВСН-3 (рис. 3.3 и 3.4), FANN (рис. 3.5) или их аналоги).

Принцип работы этих приборов основан на измерении сдвиговых напряжений в контролируемой среде, расположенной между соосными цилиндрами. Мерой сдвиговых напряжений является угол поворота подвешенного цилиндра вокруг своей оси.

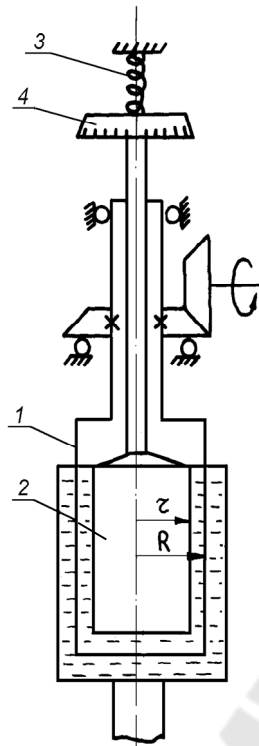


Рис. 3.2. Общая схема ротационного вискозиметра:
 1 – наружный вращающийся цилиндр; 2 – внутренний вращающийся цилиндр; 3 – пружина; 4 – шкала

4. Определение показателей реологических свойств буровых растворов на вискозиметре ВСН-3

Порядок работы

1. Перед измерением чистый сухой стакан заполняют буровым раствором и ставят на столик.
2. Включают тумблер «сеть» и перемешивают исследуемый раствор при частоте вращения 600 об/мин в течение 1 мин.
3. Выключают тумблер «сеть» и устанавливают ручку переключателя оборотов в положение 0,2 (об/мин).
4. Раствор оставляют в покое на 1 мин.
5. Через одну минуту включают тумблер и фиксируют максимальное значение угла закручивания нити перед разрушением структуры. угол закручивания нити, замеренный после 1 и 10 мин покоя, град.



Рис. 3.3. Вискозиметр ВСН-3

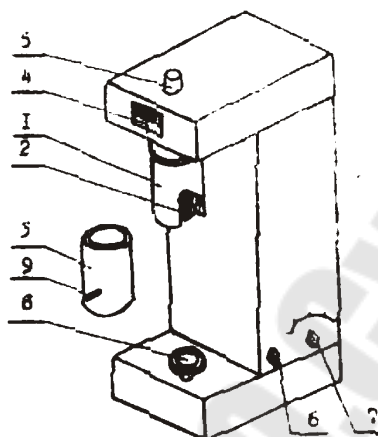


Рис. 3.4. Схема ВСН-3:

- 1 – наружный вращающийся цилиндр;
- 2 – внутренний цилиндр; 3 – стакан;
- 4 – шкала с риской; 5 – винт-головка;
- 6 – выключатель; 7 – переключатель;
- 8 – подъемный столик; 9 – штанцер

Аналогично определяют значение угла закручивания нити после 10 мин покоя.

Статическое напряжение вычисляют по формуле

$$\theta_{1,10} = k\varphi_{1,10},$$

где $\theta_{1,10}$ – статическое напряжение сдвига через 1 и 10 мин, Па; k – константа, равная величине СНС, соответствующего углу закручивания пружины на 10 (дается в паспорте на прибор); $\varphi_{1,10}$ – угол закручивания нити, замеренный после 1 и 10 мин покоя, град.

5. Определение показателей реологических свойств буровых растворов на вискозиметре FANN

Для определения показателей реологических свойств буровых растворов, в том числе и при высоких температурах, используют ротационные вискозиметры, выпускаемые в основном американской компанией «Fann Instrument»: FANN HC 34A и 34A; FANN 35A и 35SA; FANN 35A/SR12 и 35SA/SR12; FANN 70 НТНР.

Измерительные узлы перечисленных вискозиметров подобны узлам, используемым в отечественных приборах типа ВСН. Различные модели вискозиметров FANN отличаются приводом (ручной, электрический), числом частот вращения наружного цилиндра (гиль-

зы) и, соответственно, диапазоном скоростей сдвига; температурами и давлениями, реализуемыми в ходе реометрических измерений; способами регистрации измеряемых величин.

Измерение вязкости буровых растворов основывается на применении коаксиального цилиндрического вискозиметра с прямым отсчетом. Узел, состоящий из цилиндра и боба, погружается в образец бурового раствора, цилиндр приводится во вращение с помощью электродвигателя. При вращении в среде бурового раствора крутящий момент, возникающий из-за вязкостного сопротивления жидкости, передается на боб. Крутящий момент уравнивается спиральной пружиной, к которой подвешен боб.



Рис. 3.5. Вискозиметр FANN

Угол закручивания боба зависит от вязкости жидкости и отсчитывается по калиброванной шкале в верхней части прибора (8 – скоростной вискозиметр имеет скорости: 600, 300, 200, 100, 60, 30, 6 и 3 об/мин, а также скорость для перемешивания раствора; 12 – скоростной вискозиметр имеет скорости: 600; 300; 200; 100; 180; 90; 60; 30; 6; 3; 1,8 и 0,9 об/мин).

Вискозиметр FANN позволяет определить Gel, пластическую и эффективную вязкость, динамическое напряжение сдвига.

Порядок работы

1. Плавно устанавливают переключатель скорости в положение «STIR» и перемешивают буровой раствор не менее 10 с.
2. Переводят переключатель скорости в положение «GEL» и отключают электропитание.

3. Через 10 с включают вискозиметр и фиксируют максимальное отклонение стрелки перед разрушением геля как значение Gel через 10 с.

4. Ставят переключатель скорости в положение «STIR» и перемешивают буровой раствор не менее 10 с.

5. Затем переводят переключатель скорости в положение «GEL» и отключают электропитание.

6. Через 10 мин включают вискозиметр и фиксируют максимальное отклонение стрелки перед разрушением геля как значение Gel через 10 мин.

Необходимо регистрировать температуру, при которой производится измерение реологических свойств бурового раствора.

Если при измерении Gel нулевое значение шкалы во время покоя не восстанавливается, нельзя принудительно возвращать ее в положение «0». В этом случае – не производить вычитание полученного значения при измерении показания Gel.

Лабораторная работа № 4

Параметры буровых растворов и методы их определения: коэффициент вспенивания, концентрация посторонних твердых примесей, в том числе песка

Цель работы: изучить методы определения коэффициент вспенивания, концентрацию посторонних твердых примесей, в том числе песка, рН бурового раствора; ознакомиться с приборами для их контроля.

1. Коэффициент вспенивания

Теоретическая часть

Коэффициент вспенивания $K_{всп}$ – это величина, определяемая отношением объема вспененного раствора к объему исходного раствора.

Коэффициент характеризует степень вспениваемости бурового раствора и необходим для решения вопроса своевременной обработки пеногасителем.

Для измерения показателя $K_{всп}$ необходимы миксер с числом оборотов 10000 в мин, секундомер, мерная посуда.

2. Концентрация посторонних твердых примесей, в том числе песка

Теоретическая часть

Концентрация посторонних твердых примесей, в том числе песка P , %, – величина, определяемая отношением количества всех грубодисперсных частиц, независимо от их происхождения, к общему количеству бурового раствора. Характеризует степень загрязнения бурового раствора.

Песок, являясь абразивным материалом, приводит к интенсивному износу деталей буровых насосов, бурового снаряда и другого гидравлического оборудования. Нормальным считается содержание песка до 4 %.

Для определения концентрации посторонних твердых примесей, в том числе песка, используются: металлический отстойник ОМ-2, отстойник Лысенко.

2.1. Металлический отстойник ОМ-2

Металлический отстойник ОМ-2 представляет собой цилиндрический сосуд, оканчивающийся внизу трубкой, внутри которой помещена градуированная сменная пробирка объемом 10 мл с ценой деления 0,1 мм. В верхней части отстойника на уровне, соответствующем объему 500 мл, имеется отверстие для слива воды. На горловину сосуда надевается крышка, которая служит одновременно для отмеривания бурового раствора (50 мл) (рис. 4.1).

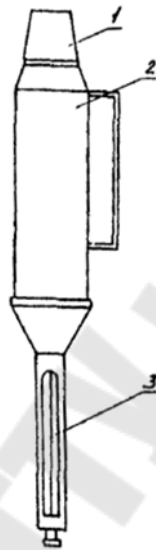


Рис. 4.1. Металлический отстойник ОМ-2:
1 – крышка; 2 – отстойник; 3 – стеклянная бюретка

Порядок работы

1. Промыть отстойник.
2. Снять крышку отстойника 1, отмерить ею 50 см³ раствора и влить его в отстойник.
3. Не моя крышку, зачерпнуть ею воду, разбавить оставшийся на внутренних стенках крышки раствор и вылить в отстойник.
4. Держа отстойник вертикально, наполнить его водой до уровня отверстия на боковой поверхности (при появлении из отверстия воды следует подождать, пока не вытечет ее излишек).
5. Плотнo закрыть отстойник крышкой и повернуть его в горизонтальное положение сливным отверстием вверх, прижимая крышку и прикрывая отверстие пальцем, интенсивно взболтать содержимое отстойника.

6. Повернуть отстойник в вертикальное положение, выждать одну минуту и снять по шкале бюретки 3 объем твердого осадка.

Общая концентрация посторонних твердых примесей равна удвоенному объему твердого осадка.

Определение концентрации отмытых посторонних твердых примесей:

– после определения объема твердого осадка воду с неосевшими глинистыми частицами слить через край отстойника;

– разбавить осадок свежими порциями воды и перенести в фарфоровую чашку диаметром 120 мм;

– через 1–2 мин слить отстоявшуюся воду и налить новую порцию воды, в которой растереть осадок резиновой пробкой;

– сливать мутную воду, повторяя отмыв несколько раз до полного отмучивания глинистых частиц;

– после этого разбавить осадок водой, перенести в отстойник и замерить его объем.

Концентрация отмытых посторонних твердых примесей равна удвоенному объему полученного осадка.

2.2. Отстойник Лысенко

Для определения процентного содержания песка в отстойник Лысенко вначале заливают 50 см³ бурового раствора, а затем 450 см³ воды и все это взбалтывают; процент песка отсчитывают по бюретке после отстаивания по истечении 1 мин (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Отстойник Лысенко

3. Определение содержания углеводородов, воды и твердой фазы

Определение содержания углеводородов, воды и твердой фазы производится муфельным анализом с использованием ретортного набора (рис. 4.3).

Объем пробы раствора в 50 мл позволяет точно определить содержание углеводородов, воды и твердой фазы.

Муфельный анализ служит для разделения и последующего измерения объемов водной, нефтяной и твердой фаз бурового раствора. Образец известного объема нагревают в муфельной печи (реторте) до испарения жидких составляющих, которые после этого конденсируются и собираются в мерный цилиндр.



Рис. 4.3. Ретортный (муфельный) набор OFITE с цифровым регулятором температуры, 50 мл

Объемы жидких составляющих определяют путем считывания показаний с мерного цилиндра, содержащего нефтяную и водную фазы бурового раствора. Суммарный объем твердой фазы, состоящей как из растворенных, так и взвешенных частиц, определяют по разности между общим объемом образца и конечным объемом собранной жидкости.

4. Концентрация водородных ионов

Теоретическая часть

Концентрация водородных ионов – это показатель, характеризующий щелочность или кислотность буровых растворов на водной

основе. Он определяется числом рН. Наличие в растворе водородных ионов связано с процессом диссоциации воды.

При $pH > 7$ жидкости – щелочные, при $pH < 7$ – кислые. Необработанные буровые растворы имеют $pH = 6,5-7,5$. У химически обработанных растворов $pH = 12,5-13,5$. Концентрацию водородных ионов определяют в буровых растворах и в их фильтратах. Значение рН фильтратов всегда меньше, чем рН бурового раствора.

Чистая дистиллированная вода практически неэлектропроводна. Следовательно, вода в незначительной мере диссоциирована:



В 1 л воды при 22 °С диссоциирует одна десятиллионная часть грамм-молекулы с образованием $1 \cdot 10^{-7}$ грамм-ионов водорода H^+ и $1 \cdot 10^{-7}$ грамм-ионов гидроксильной группы OH^- .

Произведение концентрации ионов водорода и ионов гидроксила для воды – величина постоянная и называется *ионным произведением воды*. При 22 °С значение его равно $1 \cdot 10^{-14}$.

Растворы, в которых концентрация ионов H^+ равна концентрации ионов OH^- , называются нейтральными растворами.

При добавлении к воде какой-либо кислоты концентрация ионов H^+ повышается и, соответственно, понижается концентрация ионов OH^- . Добавление к воде щелочи повышает концентрацию ионов OH^- и, соответственно, понижает концентрацию ионов H^+ .

Следовательно, по концентрации ионов водорода можно судить о характере среды:

$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$ – нейтральная среда;

$[H^+] > 10^{-7} > [OH^-]$ – кислая среда;

$[H^+] < 10^{-7} < [OH^-]$ – щелочная среда.

Кислотность или щелочность среды характеризовать числами с отрицательными показателями степени неудобно. Поэтому степень кислотности или щелочности растворов принято выражать не концентрацией ионов H^+ , а ее *десятичным логарифмом, взятым с обратным знаком*. Эту величину называют водородным показателем и обозначают через рН:

$$pH = -\lg[H^+].$$

В нейтральной среде $pH = 7$; в кислой среде $pH < 7$; в щелочной среде $pH > 7$.

Водородный показатель рН является высокочувствительным показателем, определяющим характер физико-химических процессов в растворе, что и вызывает необходимость обработки его химическими реагентами.

Для различных растворов существует свой водородный показатель рН, при котором они наиболее полно удовлетворяют требованиям технологии бурения в конкретных геолого-технических условиях. Осуществляя контроль за концентрацией водородных ионов, можно определить причины изменения свойств раствора и принять меры по восстановлению исходного его качества.

При рН = 8÷10 в глинистых растворах наиболее ярко проявляются тиксотропные свойства.

При рН = 2,7÷4 глинистые растворы обладают минимальной стабильностью.

Глинистые растворы с рН = 10,5÷11,5 наиболее стабильны.

Для измерения величины рН применяют колориметрический и электрометрический способы.

Практическая часть

4.1. Колориметрический способ определения рН

Колориметрический способ определения рН основан на способности некоторых красителей менять свой цвет в зависимости от концентрации ионов водорода и заключается в определении величины рН с помощью индикаторной (лакмусовой) бумаги и эталонных цветных шкал. Этот способ имеет невысокую точность ($\pm 0,5$ единиц рН) и ограниченную область применения (нельзя использовать для измерения величины рН окрашенных жидкостей).

На буровых рН определяют ориентировочно с помощью индикаторной бумаги. Для измерения наносят каплю бурового раствора или фильтра на индикаторную бумагу и, перевернув ее, наблюдают за изменением окраски бумаги. Сравнив цвет, приобретенный индикаторной бумагой, с цветной шкалой, определяют рН с точностью до единицы.

4.2. Электрометрический способ определения рН

Электрометрический способ определения рН в отличие от колориметрического универсален и более точен ($\pm 0,01$ единиц рН). В ос-

нове его лежит способность некоторых веществ менять электрический потенциал в зависимости от концентрации $[H^+]$.

Для электрометрических измерений используют специальные приборы – рН-метры (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Прибор рН-метр

Работа рН-метра основана на преобразовании электродвижущей силы (ЭДС) электронной системы в постоянный ток, пропорциональный измеряемой величине.

Порядок работы

Так как рН-метр является чувствительным прибором, требуется большая аккуратность при работе с ним.

1. Включают прибор и калибруют его по буферному раствору (с учетом температуры).

2. Промывают головку зонда проточной водой или прополаскивают в чистой воде, затем осторожно вытирают сухой тканью.

3. Испытуемый раствор наливают в химический стакан и погружают в него зонд.

4. Регистрируют величину рН после того, как показания прибора стабилизируются.

5. После замера зонд тщательно моют, помещают в дистиллированную воду и выключают прибор.

Калиброваться рН-метр должен с помощью буферных растворов перед каждым его применением. Для этой цели имеются буферные растворы с определенным значением рН. При калибровке используют

не менее двух видов раствора. Для получения наилучших результатов прибор должен калиброваться с таким буферным раствором, значение рН которого близко к значению рН исследуемой пробы. Перед проведением измерения электрод должен находиться в буферном растворе в течение 5 мин.

Порядок работы с буферным раствором:

- тщательно прополаскивают зонд дистиллированной водой;
- в буферный раствор, приготовленный согласно инструкции, с рН = 7,0 опускают зонд. Прибор должен показывать рН = $7,0 \pm 0,3$ без регулировки;
- повторить то же самое, используя буферные растворы с рН меньше и больше 7,0;
- если прибор выдерживает проверку при переходе от одного буферного раствора к другому, то можно считать, что он находится в хороших рабочих условиях.

Лабораторная работа № 5

Параметры буровых растворов и методы их определения: содержание газа, стабильность, насыпная масса

Цель работы: изучить методы определения содержания газа, стабильности и насыпной массы бурового раствора; ознакомиться с приборами для их контроля.

1. Содержание газа

Теоретическая часть

Содержание газа в растворах G , %, необходимо знать, чтобы контролировать начинающееся газопроявление в скважине и способность раствора оказывать давление на забой.

Отбор пробы раствора для определения содержания газа нужно производить перед всасом насоса, подающего его в скважину.

Для определения содержания газа используется метод разбавления, который основан на разбавлении бурового раствора водой, в результате чего пузырьки приобретают способность всплывать, уменьшая кажущуюся плотность бурового раствора.

Практическая часть

Определение содержания диспергированной в буровом растворе газовой фазы методом разбавления

В мерный цилиндр с пробкой вместимостью 250 см^3 заливают 50 см^3 бурового раствора и 200 см^3 дистиллированной воды, перемешивают содержимое цилиндра встряхиванием и через 1 ч измеряют объем жидкости в цилиндре. Разность между первоначальным и конечным объемами жидкости в цилиндре равна объему выделившейся из раствора газовой фазы. Скорость уменьшения объемной доли газовой фазы в аэрированном буровом растворе во времени характеризует дегазирующую способность введенного в раствор пеногасителя.

2. Стабильность раствора

Теоретическая часть

Стабильность раствора – это его способность сохранять равномерность распределения частиц твердой фазы по всему объему.

Стабильность, так же как и суточный отстой, является показателем устойчивости раствора как коллоидной системы. От величины стабильности глинистого раствора зависит его способность удерживать во взвешенном состоянии частицы глины выбуренной породы (шлама) и утяжелителя.

Показатель стабильности оценивается разностью плотностей нижнего и верхнего объемов раствора после его отстоя в течение суток.

Стабильность измеряется в кг/м^3 (г/см^3) и обозначается буквой S . Для нормального раствора стабильность не должна превышать 20 кг/м^3 ($0,02 \text{ г/см}^3$). Если этот показатель выше, то это свидетельствует о плохой стабильности раствора, при этом вероятность прихватов бурового инструмента увеличивается.

Стабильность измеряют прибором ЦС-2 (рис. 5.1).

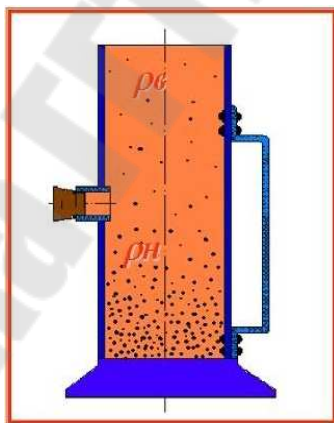


Рис. 5.1. Прибор ЦС-2

Практическая часть

Прибор ЦС-2 представляет собой металлический цилиндр 1 объемом 800 см^3 и высотой 200 мм. В середине боковой поверхности цилиндра имеется отверстие с резиновой пробкой 2 для слива раствора.

Цилиндр ЦС-2 моют водой и вытирают насухо снаружи и внутри, закрывают отверстие резиновой пробкой.

Тщательно перемешивают пробу раствора, заполняют ею цилиндр до краев, закрывают цилиндр стеклянной крышкой и засекают время.

Через 24 ч открывают пробку и сливают верхнюю часть раствора вместе с отстоявшейся водой в кружку, тщательно перемешивают нижнюю половину раствора и определяют его плотность ρ . При обоих измерениях необходимо пользоваться одним ареометром. Стабильность определяют вычитанием первого показания ареометра из второго.

3. Насыпная масса

Теоретическая часть

Во многих случаях необходимо знать объемную (насыпную) массу сыпучего материала. С ее помощью можно рассчитать количество материала (его массу) при объемном дозировании, например, количество материала (массу) в стандартном бумажном мешке или бункере цементно-смесительной машины.

Объемная масса может быть определена как в рыхлом, так и в уплотненном состоянии. Для определения объемной массы применяется прибор (рис. 5.2), который представляет собой воронку. Под воронку ставят литровый металлический сосуд-кружку.



Рис. 5.2. Прибор для определения насыпной массы

Практическая часть

При помешивании материала в воронке ложкой или палочкой он проходит через сито и рыхло заполняет литровый сосуд. В воронку помещают 2 кг, например, цемента и сыпают его в предварительно

взвешенный литровый сосуд в таком количестве, чтобы сосуд полностью был заполнен цементом и он возвышался над его краями в виде конуса. Избыток цемента срезают деревянной или металлической линейкой вровень с краями сосуда. Линейку нужно держать наклонно и прижимать к краям сосуда. После этого сосуд с цементом взвешивают на торговых или технических весах. Объемная (насыпная) масса, г/дм³, вычисляется следующим образом:

$$G = P_2 - P_1/V,$$

где P_1 – масса пустого сосуда, г; P_2 – масса сосуда с цементом, г; V – объем сосуда, дм³.

Насыпная масса рассчитывается как среднее арифметическое из результатов двух определений, отличающихся друг от друга не более чем на 50 г/дм³.

Для определения насыпной массы в уплотненном состоянии сетку из воронки удаляют, а литровый сосуд постукивают о стол, заполняя освободившийся объем новыми порциями цемента; уплотнение прекращают по достижении постоянного объема. Уплотнение удобно производить на встряхивающем столике.

Насыпная масса тампонажных цементов сильно зависит от состава и тонкости помола. Стандартный тампонажный портландцемент имеет насыпную массу в рыхлом состоянии 1000–1200 кг/м³, в уплотненном состоянии – 1500–1800 кг/м³. Цементы, содержащие бентонит, трепел или другие тонкодисперсные материалы, могут иметь значительно меньшую насыпную массу.

Лабораторная работа № 6

Триботехнические параметры буровых растворов и методы их определения: коэффициенты трения и прихватоопасности

Цель работы: изучить методы определения коэффициентов трения и прихватоопасности; ознакомиться с приборами для их контроля.

1. Коэффициент трения

Теоретическая часть

Коэффициент трения $K_{тр}$ – величина, определяемая отношением силы трения между двумя металлическими поверхностями в среде бурового раствора к прилагаемой нагрузке.

Коэффициент трения между двумя твердыми телами определяется как F/W , где F – обозначает силу трения, а W – нагрузку или силу, перпендикулярную поверхностям. Применительно к прибору для исследования смазочных свойств W – это сила, с которой блок прижимается к кольцу с помощью рукоятки крутящего момента. Сила F нужна для скольжения поверхностей блока и кольца относительно друг друга с заданной скоростью; измеряется числом ампер, необходимых для вращения кольца при заданном числе оборотов в минуту.

Коэффициент трения характеризует смазывающую способность бурового раствора.

Для измерения показателя коэффициента трения используется тестер предельного давления и смазывающей способности OFITE и прибор КТК-2.

1.1. Определение коэффициента трения на тестере предельного давления и смазывающей способности OFITE

Порядок работы

1. Очищают кольцо и блок с помощью обычного очистителя и тщательно ополаскивают водой. Перед началом испытаний все части устройства (рис. 6.1) в зоне нахождения образца очищают. В их состав входят чашка из нержавеющей стали, водный изолятор, держатель чашки, держатель блока и нижняя часть оси.



Рис. 6.1. Тестер предельного давления и смазывающей способности OFITE

2. Помещают кольцо на основную ось и, используя гаечный ключ, закрепляют его на держателе. Кольцо должно быть расположено перпендикулярно конусу оси. Так как загрязнение может исказить результаты испытания, желательно не дотрагиваться до кольца.

3. Помещают блок в держатель (плоская часть должна быть справа).

4. Подключают прибор через трансформатор к источнику электроэнергии и дают поработать в течение 15 мин.

5. Устанавливают счетчик крутящего момента на 60 об/мин. (верхний регулятор – RPM), а показатель счетчика (нижний регулятор – TORQUE) в положение «0».

6. Заполняют чашку для образца дистиллированной водой и ставят на подставку.

7. Подставку поднимают так, чтобы пара «кольцо–блок» была погружена в жидкость, и закрепляют винтом.

8. Определяют положение динамометрического ключа так, чтобы подогнать его под внутреннюю вогнутую часть зажима рукоятки. Поворачивают рукоятку зажима несколько раз против часовой стрелки, чтобы убедиться, что никакая сила на блок не действует.

9. Повторно устанавливают счетчик крутящего момента на 60 об/мин. (верхний регулятор – RPM), а показатель счетчика (нижний регулятор – TORQUE) в положение «0».

11. Устанавливают «0» на шкале динамометрического ключа.

12. Поворачивают рукоятку зажима по часовой стрелке так, чтобы получить значение 150 дюйм-фунтов крутящего момента.

13. Дают прибору поработать в течение 4–5 мин.

14. По истечении 4–5 мин проверяют показания счетчика. Они должны быть между 33 и 37 ± 2 .

Коэффициент трения рассчитывается исходя из показаний счетчика крутящего момента, деленных на 100. Значение коэффициента трения для воды должно находиться в диапазоне от 0,33 до 0,37 при 60 об/мин и силе в 150 дюйм-фунтов. Если значение коэффициента трения для воды находится в этих пределах, приступают к очистке и измерению образца.

Измерение образца происходит следующим образом:

- перемешивают жидкость образца в течение 10 мин;
- вливают жидкость в чашку, помещают чашку на подставку и поднимают до погружения всех металлических поверхностей (держатель блока и кольцо) в жидкость;
- закрепляют данное положение винтом;
- повторно проверяют RPM (60 об/мин) и крутящий момент («0»);
- прикладывают крутящий момент 150 дюйм-фунтов и дают прибору поработать 3–5 мин;
- после 3–5 мин работы прибора записывают показания крутящего момента, затем снижают крутящий момент.

Для определения смазочной способности другой испытуемой жидкости проводят тщательную очистку всех элементов прибора.

Если значение коэффициента трения для воды не попадает в требуемый диапазон значений, то поверхности кольца и блока повторно подвергают обработке или калибровке. Если блок калиброван, то он должен иметь значительную часть (по крайней мере 1/2) его искривленной поверхности, изношенной до блеска, с минимальным количеством бороздчатых линий через эту полированную поверхность.

Режимы обработки включают следующее:

- проверяют все поверхности на чистоту и центрируют поверхность износа по середине кривизны блока;
- во время работы прибора со скоростью от 100 до 200 об/мин повторно обрабатывают поверхности водой, применяя шлифовальную смесь, наносимую на кольцо, и прикладывая силу 150 дюйм-фунтов. После 5 мин останавливают вращение, чтобы повторно нанести шлифовальную смесь на кольцо. Затем повторно в течение 5 мин необходимо приложить силу 150 дюйм-фунтов. Эту процедуру повторяют от 3 до 4 раз;
- используют моющие средства (ПАВ) для удаления смазки и тщательно ополаскивают. Смешивают две столовые ложки окиси алюминия с чашкой дистиллированной воды и погружают блок и кольцо в эту смесь;

– при силе 50 дюйм-фунтов между кольцом и блоком включают прибор на 5 мин со скоростью 700–1000 об/мин. Затем сокращают крутящий момент до 25 дюйм-фунтов еще на 5 мин;

– проверяют, чтобы кольцо и блок имели гладкую поверхность с минимальным количеством рубцов. Очищают поверхности и применяют силу в 150 дюйм-фунтов в чистой воде. Если показания 33–37 все еще не будут достигнуты, обращаются к самостоятельной калибровке.

1.2. Определение коэффициента трения фильтрационной корки бурового раствора КТК-2

Схема прибора КТК-2 приведена на рис. 6.2. Принцип действия прибора основан на измерении «угла трения».

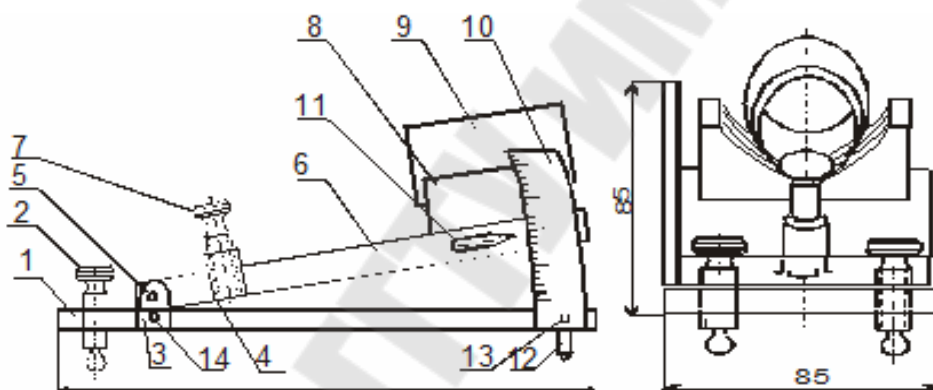


Рис. 6.2. Прибор для определения коэффициента трения фильтрационной корки буровой раствора КТК-2

Порядок работы

1. Столик 1 вместе с подвижной плитой 6 приводят в горизонтальное положение с помощью винтов 2 и уровня.

2. Протирают бензином или спиртом и просушивают груз 9.

3. Фильтрационную корку, полученную на фильтр-прессе, устанавливают на вогнутое ложе 8, на корку кладут груз 9.

4. Медленным непрерывным вращением винта 7 по часовой стрелке приводят в движение подвижную плиту 6 и наблюдают за положением груза.

5. В момент страгивания груза прекращают вращение винта, по шкале 10 и стрелке 11 определяют значение угла трения.

6. Полученное в результате измерения показание угла в градусах по таблице переводят в коэффициент трения $K = \operatorname{tg}\varphi$.

7. Заносят в журнал регистрации параметров бурового раствора полученное значение коэффициента трения. По величине коэффициента трения корки можно косвенно оценить также абразивность твердой фазы бурового раствора.

В табл. 6.1 приведены значения коэффициента трения при фиксированном угле наклона подвижной плиты прибора КТК-2.

Таблица 6.1

Значения коэффициента трения при фиксированном угле наклона подвижной плиты прибора КТК-2

Градусы	Минуты			
	0	15	30	45
	Коэффициент трения $K_{\text{тр}}$			
0	0,0000	0,0044	0,0087	0,0131
1	0,0175	0,0218	0,0262	0,0306
2	0,0349	0,0393	0,0437	0,0481
3	0,0524	0,0568	0,0612	0,0656
4	0,0699	0,0745	0,0787	0,0831
5	0,0875	0,0919	0,0963	0,1007
6	0,1051	0,1095	0,1139	0,1184
7	0,1228	0,1272	0,131	0,1361
8	0,1405	0,1450	0,1495	0,1539
9	0,1584	0,1689	0,1673	0,1718
10	0,1763	0,1808	0,1853	0,1899
11	0,1944	0,1989	0,2035	0,2080
12	0,2126 0,2171	0,2171	0,2217	0,2263
13	0,2309	0,2354	0,2401	0,2447
14	0,2493	0,2539	0,2586	0,2632
15	0,2679	0,2726	0,2773	0,2820
16	0,2867	0,2914	0,2962	0,3009
17	0,3057	0,3106	0,3153	0,3201
18	0,3249	0,3297	0,3346	0,3395
19	0,3443	0,3492	0,3541	0,3591
20	0,3640 0,3689	0,3689	0,3739	0,3789
21	0,3839	0,3839	0,3939	0,3999

2. Коэффициент прихватоопасности

Теоретическая часть

Коэффициент прихватоопасности $K_{пр}$ – величина, определяемая отношением усилия сдвига металлического диска с поверхности фильтрационной корки под перепадом давления к площади контакта.

Характеризует $K_{пр}$ вероятность прихвата неподвижной обсадной колонны или колонны бурильных труб в зоне контакта с фильтрационной коркой проницаемой породы за счет разницы пластового и гидростатического давлений.

Определяется $K_{пр}$ с помощью прибора для испытания на прихват согласно инструкции (рис. 6.3).



Рис. 6.3. Прибор для испытания на прихват компании OFITE

Практическая часть

Прибор для испытания на прихват под перепадом давлений (изготовитель – компания OFITE) обеспечивает измерение характерного для буровых растворов «коэффициента прихвата бурильных колонн», а также позволяет определить, насколько могут быть эффективными смазочные присадки и методы обработки в сочетании с тем или иным буровым раствором.

Указанный коэффициент учитывает трение или «налипание» глинистой корки, при котором будет происходить прихватывание труб в скважине.

Для создания давления в приборе используется углекислотный (CO_2) блок высокого давления.

При выполнении испытания в стандартном режиме используется давление 477,5 фунт/дюймов² (3291 кПа), создаваемое в цилиндре из нержавеющей стали емкостью 200 мл. Прилагаются диск с плоским торцом и диск со сферической торцевой поверхностью радиусом сферы 12S, которые имитируют трубу в обсадной колонне или утяжеленную бурильную трубу (УБТ) в необсаженной скважине с радиусом 31,75 см. Для образцов, которые налипают на пластину сильнее, чем на фильтрованную бумагу, предусматриваются микрофрированные диски из нержавеющей стали.

Лабораторная работа № 7

Приготовление пробы цементного раствора. Параметры тампонажных растворов и методы их определения: растекаемость, сроки схватывания

Цель работы: научиться готовить пробу цементного раствора, изучить методы определения растекаемости и сроков схватывания цементного раствора; ознакомиться с приборами для их контроля.

1. Приготовление пробы цементного раствора

Теоретическая часть

Для обеспечения воспроизводимости результатов определения свойств цементного раствора необходимо точно соблюсти заданное водоцементное отношение и тщательно перемешать раствор.

Количество цемента для приготовления берется в зависимости от того, какое количество раствора при заданном водоцементном отношении следует получить. Для расчета необходимого количества цемента нужно знать плотность сухого цемента, плотность жидкости затворения и заданное количество жидкости для затворения. В большинстве случаев тампонажные цементы затворяются водой, но также применяются водные растворы солей, углеводородные жидкости, водонефтяные эмульсии и др. В случае применения воды речь идет о водоцементном отношении, сокращенно обозначаемом В/Ц, которое характеризует количество воды, взятой для затворения, к количеству цемента. При использовании других жидкостей это отношение может обозначаться Ж/Ц.

При стандартных испытаниях цементов и для научно-исследовательских целей применяется питьевая вода. В случае подбора рецептуры раствора для цементирования конкретной скважины рекомендуется использовать ту воду, которая будет применяться при цементировочных работах. Допускается использование морской и пластовой воды. Морская вода может применяться в отдельных случаях и при стандартных испытаниях цемента. Во всех этих случаях характеристика воды (плотность, прозрачность, сухой остаток, общая жесткость) должна быть записана в лабораторный журнал.

Практическая часть

1. Количество воды (или другой жидкости) для затворения берут в соответствии с заданным водоцементным отношением с точностью до 0,5 г, или отмеряют по объему с помощью мерного цилиндра с точностью до 0,5 см. Если количество воды меньше 100 г или 100 см³, точность измерения должна составлять 0,1 г или 0,1 см³. При объемном дозировании минерализованной воды следует учитывать ее плотность.

2. Цементный раствор (затворение) можно приготавливать вручную или механическим способом. Затворение вручную производится в сферической чашке с помощью специальной лопатки-мастерка. Если количество приготавливаемого раствора не превышает 1 л, следует пользоваться чашкой диаметром 300 мм при глубине 100 мм (рис. 7.1).



Рис. 7.1. Чашка-лопатка для приготовления цементного теста вручную

При большом количестве раствора чашка должна иметь диаметр 400 мм при глубине 100 мм.

3. Для приготовления раствора отвешенное количество цемента всыпают в чашку. В цементе делают углубление, в которое в один прием вливают отмеренное количество воды. Воду и цемент сначала осторожно перемешивают лопаткой, а после того, как вода впитается, и весь цемент будет увлажнен, смесь энергично растирают лопаткой, медленно вращая чашку вокруг своей оси. Перемешивание производится в течение 3 мин, считая с момента вливания воды в цемент. При перемешивании необходимо следить за тем, чтобы цемент не распылялся, а вода или раствор не разбрызгивались. В противном случае неизбежны ошибки: цементный раствор не будет иметь заданного водоцементного отношения.

При приготовлении раствора механическим способом можно применять лопастную мешалку ЛМР-1, предназначенную для приготовления проб тампонажных растворов, используемых для определения качественных параметров растворов и камня (рис. 7.2).

4. В стакан мешалки вливают отмеренное количество жидкости затворения и при помешивании стеклянной палочкой через воронку постепенно всыпают отвешенное количество цемента. После того как засыпано все количество цемента, закрепляют стакан на лабораторной мешалке и включают вращение рабочего органа мешалки. Продолжительность перемешивания – 3 мин с момента всыпания порции цемента.



Рис. 7.2. Лабораторная мешалка ЛМР-1

5. Для ряда определений необходимо фиксировать начало приготовления раствора (начало затворения) – момент добавления порции цемента в мешалку с жидкостью затворения при механическом перемешивании.

6. В большинстве случаев при приготовлении цементного раствора температура цемента и жидкости затворения, а также температура помещения должны быть 22 ± 2 °С. Для этого тампонажные цементы и жидкость для затворения должны выдерживаться в помещении не менее 6 ч.

2. Растекаемость тампонажного раствора

Теоретическая часть

Подвижность тампонажного раствора определяется с целью выяснения возможности прокачивания его в скважину насосами. Существуют различные способы определения подвижности.

Подвижность цементного раствора обуславливает гидравлическое сопротивление, которое оказывает цементный раствор прокачиванию по циркуляционной системе скважины. Гидравлическое сопротивление может быть рассчитано, если известны реологические параметры цементного раствора – пластическая вязкость и динамическое напряжение сдвига. Эти величины могут быть определены с помощью ротационного вискозиметра. Измерения этих параметров сложны и трудоемки, поэтому они применяются главным образом в научно-исследовательских целях.

При испытании цементных растворов в производственных условиях используют косвенные методы оценки прокачиваемости по растекаемости и с помощью консистометра.

Практическая часть

1. Растекаемость цементного раствора определяется с помощью прибора, называемого конус АзНИИ (рис. 7.3). Этот прибор состоит из усеченного конуса, имеющего строго определенные размеры.

Внутренний диаметр основания, мм:

– верхнего – $36 \pm 0,5$;

– нижнего – $64 \pm 0,5$.

Высота, мм – $60 \pm 0,5$.

Объем, см³ – 120.

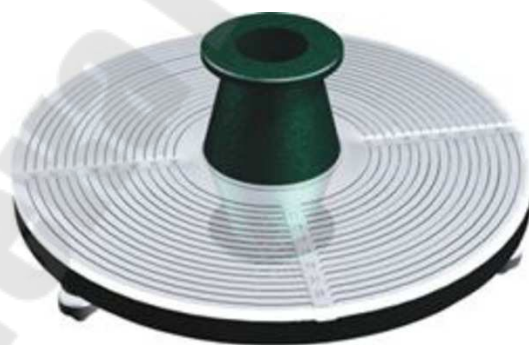


Рис. 7.3. Конус АзНИИ для определения растекаемости тампонажного раствора

2. Конус устанавливают на стекло, под которым помещают круг, расчерченный концентрическими окружностями, нанесенными через 5 мм. С помощью регулировочных винтов, служащих одновременно и опорами прибора, круг со стеклом по уровню располагают в горизонтальном положении. Конус должен быть установлен в центре круга.

Чтобы предотвратить преждевременное самопроизвольное поднятие конуса при заполнении его цементным раствором, конус утяжелен до 300 г за счет припайки к наружной его поверхности кольца или посредством утолщения стенок конуса. Внутренняя поверхность конуса должна быть отполирована.

3. Для определения растекаемости готовят 250 см³ цементного раствора. После перемешивания в течение 3 мин приготовленный цементный раствор заливают в конус на уровне верхнего кольца. Интервал времени от момента окончания перемешивания до момента начала заполнения конуса не должен быть более 5 с. Конус резко поднимают и через 10–12 с отсчитывают наибольший и наименьший диаметры круга расплыва. По ним вычисляют средний диаметр, который и характеризует *растекаемость раствора*. Для получения правильных результатов необходимо, чтобы внутренняя поверхность конуса и стекло были чистыми и сухими. Растекаемость раствора выражается в сантиметрах.

Определение степени прокачиваемости цементного раствора в начальный период по растекаемости в значительной степени условно. Растекаемость зависит от длительности и интенсивности перемешивания при приготовлении раствора, поэтому воспроизводимые результаты можно получить лишь при строгом ограничении этих условий. В момент определения растекаемости цементный раствор находится в статическом состоянии, тогда как при цементировании скважины – в движении.

3. Сроки схватывания тампонажного раствора

Теоретическая часть

Наиболее быстро схватывание цементного раствора происходит в том случае, когда он после затворения остается в покое. Простейший способ характеристики скорости схватывания в статических условиях – измерение сроков схватывания с помощью прибора Вика (см. рис. 2.4 лабораторной работы № 2).

Этот способ основан на периодическом измерении глубины погружения в твердеющий цементный раствор иглы определенного сечения под действием определенного веса. Сразу после затворения, когда цементный раствор находится в жидком состоянии, игла погружается в раствор на всю его глубину. По мере того как раствор загусте-

вает, движение иглы в нем замедляется и, наконец, наступает момент, когда она под действием веса стержня не доходит до дна сосуда с раствором. По прошествии еще некоторого времени наступает момент, когда игла уже не может погрузиться в цементный раствор на заметную глубину. По этому методу скорость схватывания характеризуется так называемыми сроками схватывания – сроком начала и сроком конца схватывания.

Время, прошедшее от момента затворения до того момента, когда игла не доходит до дна сосуда с раствором на 1–2 мм, называют *сроком начала схватывания*, а время, прошедшее от момента затворения до момента, когда игла погружается в раствор не более, чем на 1 мм – *сроком конца схватывания*.

С помощью *прибора Вика* производится определение сроков схватывания при температурах до 90 °С при атмосферном давлении. Прибор состоит из призматического металлического стержня 1, свободно перемещающегося в вертикальной обойме станины 2. Для закрепления стержня на желаемой высоте служит зажимной винт 3. В нижнюю часть стержня ввинчивается стальная игла 4 диаметром 1,1 мм и длиной 50 мм. Верхняя часть стержня имеет цилиндрическую форму, она называется пестиком Тетмайера 5 (диаметр пестика – 10 мм; длина – 50 мм). Пестик Тетмайера применяется при определении нормальной плотности цементного теста. Масса стержня (с пестиком и иглой) должна быть равна 300 ± 2 г. На станине укреплен шкала 6 с делениями от 0 до 10 мм. Под кольцо подкладывается пластинка.

Практическая часть

1. Перед началом испытания следует проверить, свободно ли опускается стержень прибора и совпадает ли (при соприкосновении иглы с данной пластинкой) нулевое деление шкалы с чертой, имеющейся на стержне. В случае их несовпадения шкалу прибора передвигают.

2. Для определения сроков схватывания готовят 300 см³ раствора, который после трехминутного перемешивания заливают в кольцо прибора Вика (рис. 7.4). Стенки кольца и пластинку, на которую оно устанавливается, смазывают слоем жидкого машинного масла. В противном случае схватывающийся цементный раствор будет трудно удалить из кольца.

3. Раствор заливают в кольцо до верхнего края надставки и записывают время начала затворения раствора. Через 1 ч после затворения

надставку снимают, а избыток раствора снимают на уровне краев кольца смоченной в воде металлической или деревянной линейкой. Первое погружение иглы в раствор производят через 1 ч после приготовления раствора, последующие – не реже чем через каждые 15 мин.



Рис. 7.4. Кольцо прибора Вика

4. При испытании быстросхватывающихся смесей, применяемых для изоляции зон поглощения промывочной жидкости, иглу следует погружать через каждые 5 мин, начиная с момента приготовления раствора. Перед погружением иглу следует установить на высоте верхнего уровня раствора и закрепить стержень винтом. Отпуская зажим, дают игле возможность свободно погружаться в раствор. После каждого погружения иглу следует вытирать, а кольцо поворачивать так, чтобы игла погружалась каждый раз в новое место. Во время опыта нужно оберегать кольцо с раствором от толчков и сотрясений, а иглу – от искривления. Для этого при погружении в жидкий раствор, когда можно предположить, что начало схватывания еще не наступило, иглу во избежание резкого удара о данную пластинку следует слегка придерживать рукой.

5. Если необходимо определить сроки схватывания при температуре выше комнатной, то раствор заливают в кольцо без надставки, но с некоторым избытком. Избыток сразу же срезают линейкой, и кольцо накрывают металлической или стеклянной пластинкой, смазанной слоем жидкого масла. Пластинку прижимают к кольцу специальным приспособлением. Кольцо, закрытое пластинкой, немедленно погружают в водный термостат с заданной температурой. Первое погружение иглы проводят через 1 ч после затворения, последующие – через каждые 5 мин до окончания испытания.

6. Перед каждым погружением кольцо с раствором снова накрывают пластинкой, температуру воды измеряют и результат записывают. При температуре испытания $< 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ заданная температура должна поддерживаться с точностью до $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, при более высокой температуре – с точностью до $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Лабораторная работа № 8

Параметры тампонажных растворов и камня: время загустевания тампонажного раствора, прочность цементного камня

Цель работы: изучить методы определения времени загустевания тампонажного раствора и прочности цементного камня; ознакомиться с приборами для их контроля.

1. Время загустевания тампонажного раствора

Теоретическая часть

Процесс схватывания тампонажного раствора, находящегося в движении, проявляется в увеличении его динамического напряжения сдвига и пластической вязкости, что приводит к увеличению гидравлических сопротивлений при движении цементного раствора в трубах и затрубном пространстве, повышению давления в насосах цементировочных агрегатов в процессе цементирования. Это в ряде случаев может вызвать преждевременную остановку цементирования, когда не весь цементный раствор окажется выдавленным в затрубное пространство.

Однако измерение реологических параметров цементного раствора в области, близкой к пределу прокачиваемости, связано со значительными трудностями. Поэтому на практике вместо измерения реологических параметров наблюдают за изменением консистенции во времени с помощью консистометров КЦ-3 или КЦ-5 (рис. 8.1 и 8.2).

Способность цементного раствора к прокачиванию более точно можно определить по сопротивлению, которое он оказывает при перемешивании лопастной мешалкой. При этом интенсивность перемешивания должна соответствовать интенсивности перемешивания при движении его в скважине во время цементирования. Приборы, в которых используется этот принцип определения прокачиваемости, называются консистометрами, а измеряемый параметр прокачиваемости – консистенцией.



Рис. 8.1. Консистометр КЦ-3

Практическая часть

Для определения консистенции готовят 650 см^3 цементного раствора, который заливают в стакан консистометра. Уровень цементного раствора, залитого в консистометр, должен доходить до риски на внутренней поверхности стакана. Затем стакан присоединяют к мешалке, после чего включают электродвигатель.

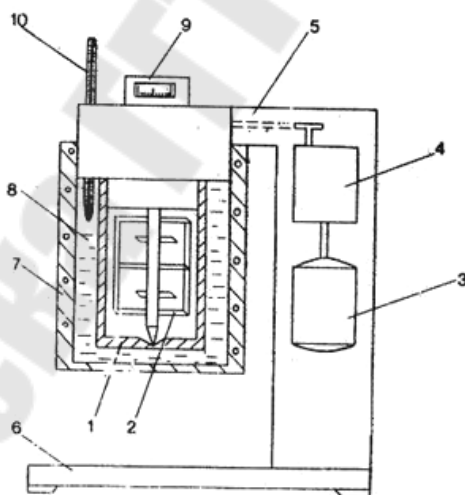


Рис. 8.2. Схема консистометра КЦ-5: 1 – стакан для раствора; 2 – рамка с лопастями; 3 – электродвигатель; 4 – редуктор; 5 – кронштейн; 6 – станина; 7 – электронагреватель; 8 – водяная баня; 9 – шкала; 10 – термометр

С момента затворения до момента включения электродвигателя должно пройти не более 5 мин. Время загустевания цементных рас-

творов определяют при повышенных значениях температуры и давления. Шкала потенциометра прибора проградуирована в условных единицах консистенции – 1 УЕК.

Цементный раствор считается достаточно подвижным, если его консистенция не превышает 20 УЕК.

2. Определение прочности цементного камня при изгибе

Для испытания на изгиб образцы цементного камня изготавливают в виде призм (балочек). Призмы могут иметь размеры $4 \times 4 \times 16$, $2 \times 2 \times 10$, $1 \times 1 \times 3$ см. Для одного испытания готовят три или четыре образца-«близнеца» размером $4 \times 4 \times 16$ см (рис. 8.3).

Для изготовления четырех образцов размером $4 \times 4 \times 16$ см необходимо приготовить не менее 1300 см^3 раствора. Непосредственно перед изготовлением образцов внутреннюю поверхность стенок форм и поддона слегка смазывают машинным маслом. Стыки наружных стенок друг с другом и с поддоном формы промазывают тонким слоем солидола или другой густой смазки.

Формы для образцов заполняют раствором в два приема – сначала до половины, затем для удаления воздуха внутри каждой ячейки раствор штыкуется 24 раза стеклянной палочкой, лабораторным или специальным шпателем. После штыкования формы заполняют раствором по верхнему краю надставки и раствор вновь штыкуется.

Вместо штыкования желательнее применять уплотнение на встряхивающем столике путем встряхивания такого же числа раз. Если образцы должны выдерживаться при температуре ниже $40 \text{ }^\circ\text{C}$, формы с раствором помещают в ванну с гидравлическим затвором, на дно которой налита вода. Формы устанавливают на решетке над водой.

Температура внутри ванны должна соответствовать заданной. Через 24 ч после затворения формы с образцами извлекают из ванны и разбирают. Образцы маркируют и для дальнейшего твердения погружают в воду при той же температуре. Вода должна покрывать образцы не менее чем на 2 см. Воду меняют через каждые 14 сут.

Образцы могут маркироваться нитролаком, а также могут быть процарапаны острым предметом.



Рис. 8.3. Форма для изготовления цементных балочек размером $4 \times 4 \times 16$ см

Если цементный камень после выдерживания 24 ч недостаточно затвердел для извлечения образцов из форм, их погружают в воду в формах. Извлекают образцы из форм в этом случае через 48 ч с момента затворения.

Формы с образцами, предназначенными для выдерживания при повышенной температуре от 40 до 100 °С, после срезания избытка цементного раствора покрывают стеклянной или металлической пластинкой и погружают в термостат с водой, имеющей заданную температуру. Через 24 ч формы извлекают из термостата, разбирают, образцы маркируют и снова помещают в термостат.

Образцы, предназначенные для твердения при температуре выше 100 °С (в автоклавах), до извлечения из форм выдерживают в течение 6 ч в закрытых формах в воде при температуре 90 °С. После расформования образцы помещают в автоклав с заданной температурой. По истечении срока хранения образцы вынимают из воды и не позднее чем через 30 мин подвергают испытанию. Непосредственно перед испытанием образцы должны быть вытерты.

Прочность образцов при изгибе можно определить на приборе типа МИИ-100 (рис. 8.4). В этих приборах нагружение производится перемещением тарированного груза по рычагу с помощью электродвигателя с редуктором. Пересчет положения груза на рычаге в создаваемое в образце напряжение производится с помощью электрической или электронной системы. Максимальное создаваемое напряжение на образец сечением 4×4 см у МИИ-100 – 10 МПа.



Рис. 8.4. Прибор МИИ-100

Образцы устанавливаются на опоры изгибающего устройства таким образом, чтобы те грани его, которые были горизонтальными при изготовлении, находились в вертикальном положении.

Предел прочности при изгибе определяют как среднее арифметическое значение двух наибольших результатов испытаний трех образцов.

Литература

1. Буровые растворы при бурении скважин и боковых стволов в РУП «Производственное объединение «Белоруснефть». – СТП 09100.17015.042–2013. – 85 с. (с изм. № 2. – 11 с.).

2. Жуховицкий, С. Ю. Промывочные жидкости в бурении / С. Ю. Жуховицкий. – М. : Недра, 1976. – 200 с.

3. Городнов, В. Д. Буровые растворы / В. Д. Городнов. – М. : Недра, 1985. – 206 с.

4. Булатов, А. И. Тампонажные материалы / А. И. Булатов, В. С. Данюшевский. – М. : Недра, 1987. – 280 с.

5. Лабораторный практикум по основам гидравлики и промывочным жидкостям / С. М. Башлык [и др.] – М. : Недра, 1982. – 156 с.

Содержание

Лабораторная работа № 1 «Параметры буровых растворов и методы их определения: плотность, условная вязкость»	3
Лабораторная работа № 2 «Параметры буровых растворов и методы их определения: фильтрация, толщина фильтрационной корки»	10
Лабораторная работа № 3 «Параметры буровых растворов и методы их определения: пластическая вязкость, статическое напряжение сдвига, динамическое напряжение сдвига».....	17
Лабораторная работа № 4 «Параметры буровых растворов и методы их определения: коэффициент вспенивания, концентрация посторонних твердых примесей, в том числе песка».....	24
Лабораторная работа № 5 «Параметры буровых растворов и методы их определения: содержание газа, стабильность, насыпная масса»	32
Лабораторная работа № 6 «Триботехнические параметры буровых растворов и методы их определения: коэффициенты трения и прихватоопасности».....	36
Лабораторная работа № 7 «Приготовление пробы цементного раствора. Параметры тампонажных растворов и методы их определения: растекаемость, сроки схватывания»	43
Лабораторная работа № 8 «Параметры тампонажных растворов и камня: время загустевания тампонажного раствора, прочность цементного камня».....	50
Литература.....	55

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Бруй Любовь Козьминична
Шемлей Наталья Викторовна
Атвиновская Татьяна Владимировна

БУРОВЫЕ И ТАМПОНАЖНЫЕ РАСТВОРЫ

Практикум

Электронный аналог печатного издания

Редактор
Компьютерная верстка

Т. Н. Мисюрова
И. П. Минина

Подписано в печать 23.12.19
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Ризография. Усл. печ. л. 3,49. Уч.-изд. л. 3,75.
Изд. № 30.
<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение
Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого.
Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя
печатных изданий за № 1/273 от 04.04.2014 г.
пр. Октября, 48, 246746, г. Гомель