

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра бурения скважин

БУРЕНИЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21.05.06*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021

УДК 622.244.4.06 + 622.245.42 (073)

БУРЕНИЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН: Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост. *Е.Л. Леушева, К.С. Кунавых*. СПб, 2021. 35 с.

Приведены методические указания к лабораторным работам для студентов специальности 21.05.06 «Нефтегазовая техника и технологии» специализации «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

Описываются лабораторные приборы, методика и порядок выполнения работ.

Научный редактор проф. *Н.И. Николаев*

Рецензент к.т.н. *И.А. Лягов* (ООО «Перфобур»)

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2021

БУРЕНИЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21.05.06*

Сост. *Е.Л. Леушева, К.С. Кунавых*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
бурения скважин

Ответственный за выпуск *Е.Л. Леушева*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 10.06.2021. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 2,0. Усл.кр.-отт. 2,0. Уч.-изд.л. 1,7. Тираж 75 экз. Заказ 578.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предмет курса "Бурение нефтегазовых скважин" направлен на изучение основных механических процессов в горных породах при бурении скважин, а также на исследование свойств применяемых промывочных и тампонажных растворов.

Сущность процессов в горных породах и породоразрушающих инструментах и параметры соответствующих моделей изучаются и определяются экспериментально при их физическом моделировании.

Промывочные и тампонажные растворы при бурении скважин имеют многофункциональное назначение, поэтому контроль и регулирование их параметров, регламентируемых конкретными геологическими условиями, режимами и технологией проходки скважины, требуют хороших знаний методов определения основных физико-механических свойств, как исходных материалов, так и конечных модифицированных продуктов, как правило, представляющих собой сложные многофазные системы.

Основные задачи настоящего лабораторного практикума опытным путем:

- определять физико-технологические свойства горных пород, научиться подбирать нужные породоразрушающие инструменты с учетом бурения конкретной скважины или её отдельного интервала;

- подбирать нужные рецептуры буровых растворов и тампонажных смесей с заданными характеристиками, анализировать их качество с помощью специальных приборов, целенаправленно изменять свойства с учетом бурения конкретной скважины или её отдельного интервала.

Общим требованием к результатам каждой лабораторной работы является обработка и оформление их на ПК с последующей защитой отчета.

Лабораторная работа 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИИ ГОРНЫХ ПОРОД ПО БУРИМОСТИ НА ОСНОВЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ И АБРАЗИВНОСТИ ПОРОД

Цель работы - ознакомление с методом контрольного определения категорий горных пород по буримости для вращательного бурения в соответствии со стандартом (ОСТ 41-89-74).

Задание

1. Определить показатель динамической прочности горной породы прибором ПОК.
2. Определить абразивность горной породы прибором ПОАП-2М.
3. Рассчитать объединенный показатель динамической прочности и абразивности горной породы ρ_m и по табл.1 определить категорию породы по буримости.

Общие положения

Буримость горных пород зависит от многих факторов, из которых основными являются физико-механические свойства пород, износостойкость породоразрушающего инструмента и совершенство технологии бурения. Два последних фактора учитываются в процессе работы.

В результате исследований разработана классификация пород, в основу которой положены показатели физико-механических свойств породы. Критерием отнесения породы к той или иной категории по буримости являются не петрографические признаки, а физико-механические свойства, выраженные через твердость (определяется прибором УМП-3) для мягких пород и через объединенный показатель для твердых горных пород. Классификация исключает необходимость составления групп пород по петрографическому признаку и использования этого признака для определения их категории, поскольку одна и та же порода может иметь различные физико-механические свойства, а следовательно и различную буримость.

Во избежание грубых и субъективных ошибок при определении категории горных пород для разведочного бурения по петрографическим признакам и буримости разработан и утвержден отрас-

левой стандарт ОСТ-41-89-74 на метод контрольного определения категорий буримости для вращательного бурения, утвержденный приказом по Министерству геологии СССР от 11 февраля 1975 г., за № 55. Срок введения стандарта установлен с 1 января 1976 г.

Отраслевой стандарт ОСТ-41-89-74 распространяется на горные породы V-XII категорий по буримости для вращательного механического бурения скважин и устанавливает метод контрольного определения категорий на основе механических свойств горных пород. Стандарт не распространяется на глинистые породы, слабый алевролит, талько-магнезит, угли, нетвердые железные руды, многолетнемерзлые грунты и галечники.

Аппаратура и материалы

Отбор образцов. Образцы отбираются из керна горных пород. Длина образцов составляет 20-25 см при бурении коронками 46-59 мм и 15-18 см при бурении коронками диаметром 76-93 мм.

Пробы из образцов подготавливаются в следующем порядке:

1. испытуемый образец породы разбивается на куски изометрической формы размером 1,5-2,0 см;
2. набираются две пробы, каждая из которых состоит из 25 кусков и разделяется на пять частей (по пять кусков).

При определении категорий породы применяются:

- прибор определения динамической прочности (крепости) горных пород ПОК;
- прибор определения абразивности горных пород ПОАП-2М;
- весы типа ВЛТЭ-200;
- свинцовая дробь ОТ-1 диаметром 3,25 мм (ГОСТ-7837-55);
- порошок электрокорундовый № 12 (ГОСТ 3647-71);
- сито из сетки № 5 (ГОСТ 3826-66);
- мерка емкостью 1 см³.

Прибор. ПОК состоит из трубного копра (рис.1,а) и объемметра (рис.1,б).

Прибор ПОАП-2М (рис. 2) приводится в действие электродвигателем типа АОЛ-21-4 (частота вращения 1400 об/мин, мощность 0,27 кВт; напряжение 220/380 В). Движение от электродвигателя 1, установленного на плите 6, через муфту 2 передается валу 3 с шатунами 7, которые сообщают возвратно-поступательное движение

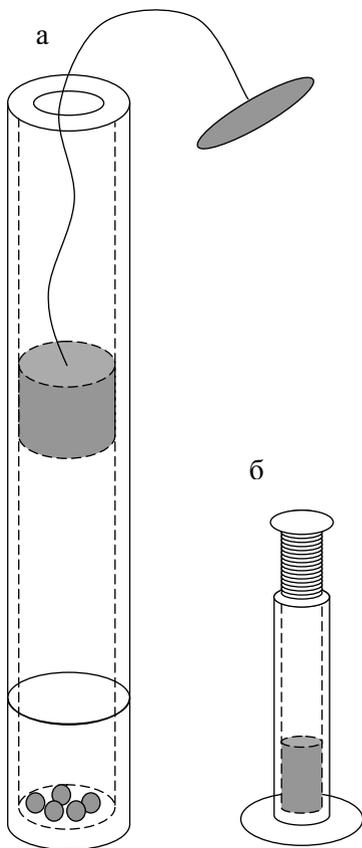


Рис.1 Прибор для определения динамической прочности горных пород (ПОК):
а - трубный копер; б – объемомер

ние рабочему органу 4. Рабочий орган состоит из левого и правого-корпусов одинаковой конструкции, в каждом из которых размещаются по три загрузочных цилиндра из оргстекла. Опорой для рабочего органа служит скоба 5 с двумя направляющими.

Максимальный ход рабочего органа 8 мм, число двойных ходов в минуту 1400.

Весы предназначены для определения потери массы эталонного материала при установлении абразивности с точностью до 5 мг.

Подготовка к испытанию

Дробь протирают сухим хлопчатобумажным материалом. Дробинки неправильной формы (сплюснутые, вытянутые и т.п.) отбраковывают.

Заготавливают шесть навесок дробинки, в каждой по 21 дробинке диаметром 3,25 мм, или 26 дробинки диаметром 3,0 мм или 14 дробинки диаметром 3,5 мм. Повторное использование дробы запрещается. Каждую навеску дробы взвешивают с точностью до 10 мг.

В каждый загрузочный цилиндр загружают навеску дробы и 1 см³ электрокорундового порошка. Загрузочные цилиндры помещают в прибор ПОАП-2М и включают его на 20 мин. За это время вал электродвигателя должен совершить 28000 оборотов, что контролируется счетчиком прибора.

Каждую навесу дробы после опыта помещают в сосуд с водой и после перемешивания (споласкивания) извлекают и насухо

вытирают чистым хлопчатобумажным материнком. Промытую дробь взвешивают. Потеря массы дробинки в каждой навеске должна быть 200 ± 10 мг. При отклонении потери массы дробинки от указанной необходимо изменить количество дробинки в навеске и повторить опыт.

Дробинки к испытаниям подготавливаются по специальному заданию преподавателя, поскольку необходимое их количество в навеске может быть определено заранее.

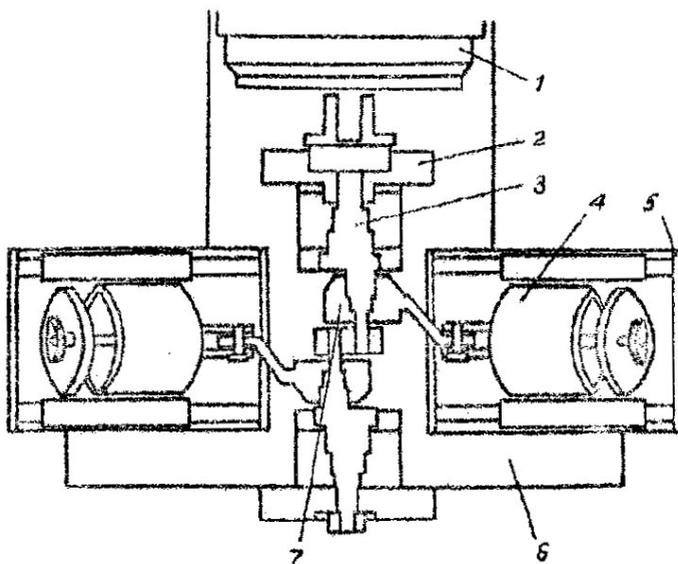


Рис. 2 Прибор ПОАП-2М для определения абразивности горных пород:
1 - электродвигатель; 2 - муфта; 3 - вал; 4 - рабочий орган; 5 - скоба;
6 - плита; 7 - шатун

Порядок выполнения работы

1. Определение коэффициента динамической прочности пород с помощью прибора ПОК.

Каждую часть пробы подготовленной породы, состоящую из пяти кусков, помещают в стакан прибора и 10 раз сбрасывают гирию массой 2,4 кг с высоты 600 мм (груз поднимается до упора). Продукты разрушения частей пробы породы просеивают через сито с размером стороны ячейки в свету 0,5 мм. Фракцию 0,5 мм и менее

(прошедшую через сито) ссыпают в трубу объемомера. Затем в трубу свободно вставляют до упора цилиндр и снимают отсчет по шкале цилиндра в миллиметрах.

После испытания в ПОК раздробленную горную породу высыпают из объемомера на лист чистой бумаги в виде конуса, затем с помощью пластинки конус развертывают в диск, который снова пересыпают в конус. Процесс перемешивания повторяют два-три раза для получения однородной массы. Из противоположных частей диска отбирают две пробы по 1 см^3 каждая. Эти пробы являются исходными для испытаний на приборе ПОАП-2М.

2. Определение абразивности.

В каждый загрузочный цилиндр помещают навеску дроби, подобранную так, как указано выше, и пробу породы, отобранной после работы на приборе ПОК.

Загрузочные цилиндры с дробью и пробами (1 см^3) породы помещают в прибор ПОАП-2М и включают его на 20 мин.

После испытания дробь промывают, для чего каждую навеску дроби (их две) помещают в чистые загрузочные цилиндры, заполненные водой на $2/3$ объема. Эти цилиндры помещают в прибор ПОАП-2М и включают его на 5 мин. Промытую дробь протирают сухим хлопчатобумажным материалом и взвешивают каждую навеску для определения потери массы дроби.

3. Расчет коэффициента динамической прочности и абразивности пород, объединенного показателя ρ_m и определение категории пород по буримости.

Коэффициент динамической прочности породы F_d рассчитывают по формуле:

$$F_d = \frac{20 \cdot n}{h},$$

где n - число сбрасывания гири на приборе ПОК ($n=10$); h - отсчет по шкале цилиндра объемомера, мм.

Коэффициент абразивности K_a исследуемой породы определяется по формуле:

$$K_a = \frac{m_n}{100},$$

где m_n - потеря массы дроби, мг.

Эти коэффициенты определяют по двум пробам. За средние значения принимают среднеарифметические двух определений при условии:

$$Z = \frac{x_1 - x_2}{x_1 + x_2} \cdot 100 \leq 25\%,$$

где x_1 и x_2 - значения двух определений F_d или K_a).

При невыполнении этого условия проводят дополнительные определения F_d и K_a по изложенной выше методике. Из полученных значений F_d или K_a выбирают те два, для которых Z отвечает приведенному условию и меньше по величине.

Объединенный показатель:

$$\rho_m = 3 \cdot F_d^{0,8} \cdot K_a.$$

Категория пород по буримости определяется по таблице 1.

Таблица 1

Соотношение величины объединенного показателя ρ_m и категорий пород по буримости

Категория пород по буримости	Объединенный показатель ρ_m
V	4,5-6,8
VI	6,9-10,1
VII	10,2-15,2
VIII	15,3-22,8
IX	22,9-34,2
X	34,3-51,2
XI	51,3-76,2
XII	76,8

Обработка результатов и их представление

Отчет по лабораторной работе должен быть набран при помощи ПК, распечатан на листе формата А4 и должен содержать следующие разделы: цель работы; описание аппаратуры и материалов; результаты работы, вывод.

Лабораторная работа 2
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА СЫРЬЯ
ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ РАСТВОРА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ПЛОТНОСТИ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Цель работы. Освоение методики определения исходных компонентов (глины, воды) для приготовления раствора заданной плотности. Определение плотности глинистого раствора при заданной концентрации твердой фазы.

Приборы и материалы

Лабораторная глиномешалка, мерный стеклянный цилиндр, весы с разновесами, образцы глины различного качества, техническая вода, ареометр АБР-1 (ареометр АГ-ЗПП, весы рычажные – плотномер ВРП-1).

Расчетные формулы

1. Определение необходимого количества глины и воды для получения объема раствора V_p , м³ заданной плотности ρ_p , кг/м³.

Требуемый объем глины, м³:

$$V_z = \frac{\rho_p - \rho_g}{\rho_z - \rho_g} V_p, \quad (1)$$

где ρ_g - плотность воды, кг/м³; ρ_z - плотность глины, кг/м³.

Требуемая масса глины, кг:

$$m_z = V_z \cdot \rho_z. \quad (2)$$

Требуемый объем воды, м³:

$$V_g = V_p - V_z. \quad (3)$$

Масса воды, кг:

$$m_g = V_g \cdot \rho_g. \quad (4)$$

2. Определение концентрации глины в растворе, %:

$$C_z = \frac{100 \cdot m_z}{V_p \cdot \rho_p}, \quad (5)$$

где m_p - масса глины, кг; V_p - объем глинистого раствора, м³; ρ_p - плотность глинистого раствора, кг/м³.

3. Определение массы глины для увеличения её концентрации в глинистом растворе, кг:

$$Q_z = \rho_p \cdot \frac{V_p \cdot (C_{zx} - C_z)}{100 - C_{zx}}, \quad (6)$$

где V_p - объем исходного глинистого раствора, м³; C_{zx} - требуемая концентрация глинистого раствора, %; C_z - концентрация исходного глинистого раствора, %; ρ_p - плотность исходного глинистого раствора, кг/м³.

4. Расчет необходимого объема воды для введения в глинистый раствор с целью уменьшения его плотности, м³

$$V_o = V_p \cdot \frac{\rho_p - \rho_{px}}{\rho_{px} - \rho_в}, \quad (7)$$

где V_o - объем добавляемой воды, м³; V_p - объем исходного глинистого раствора, м³; ρ_{px} - плотность требуемого глинистого раствора, кг/м³.

Плотность промывочной жидкости – это масса единицы ее объема. Изменением плотности раствора регулируют гидростатическое давление на забой и стенки скважины, что важно при борьбе с осложнениями (поглощениями, фонтанированием, обвалами). Для нормальных условий бурения величина плотности $\rho=1050-1300$ кг/м³.

Увеличение плотности вызывает повышение расхода энергии на прокачивание раствора и увеличение его потерь в трещиноватых и пористых породах.

Ареометр АБР-1 предназначен для определения плотности глинистых и цементных растворов. Плотность можно замерять в пресной, морской, и технической воде с учетом поправки на плотность рабочей воды, отличной от 1 г/см³ по поправочной шкале стержня. Ареометр АБР-1 (рисунок 3) состоит из мерного стакана 5, доньшка 6, поплавка 7, стержня 8 и съемного груза 1. Мерный стакан имеет две полости - емкость для пробы замеряемого раствора и компенсационную камеру. В компенсационной камере размещается металлический балласт 4, необходимый для устойчивости погруженного в воду прибора, и компенсационный груз 3 (чугунная дробь) для тарировки. Дробь и балласт изолируются заглушкой 2. В верхней части стакана расположены прорези для слива излишков

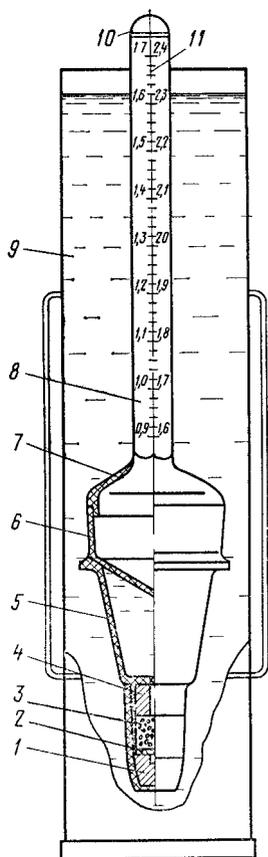


Рис. 3 Ареометр
АБР-1

на стержне ареометра.

При отклонении показаний ареометра от отметки (0 ± 10) кг/м^3 поправочной шкалы в пробку засыпают металлическую дробь диаметром 2-3 мм до тех пор, пока показания прибора по поправочной шкале не станут равными (0 ± 10) кг/м^3 . После этого дробь высыпают в стержень ареометра и закрывают его пробкой.

раствора. Плавучесть ареометра обеспечивает поплавковая камера. Она состоит из поплавка 7 и доньшка 6. Стержень 8 изготовлен из дюралевой трубки и крепится к поплавку на резьбе эпоксидным клеем. Трубка сверху закрывается полиэтиленовой пробкой 10. Съёмный груз 1, обеспечивающий два диапазона измерения ареометром, представляет собой стальную арматуру, залитую снаружи полиэтиленовой оболочкой. Он закрепляется на приборе посредством резьбового соединения.

На поверхности стержня нанесены две шкалы 11 для измерения плотности в пределах $0,9-1,7 \text{ г/см}^3$ и $1,6-2,4 \text{ г/см}^3$. При измерениях по второй шкале (утяжеленные растворы) груз 1 снимают. При выполнении опыта ареометр погружают в ведро 9 имеющее емкость 3,5 л.

Подготовка к работе

Перед проведением опыта необходима тарировка прибора. Для этого в мерный стакан ареометра с надетым калиброванным грузом наливают воду плотностью (1000 ± 1) кг/м^3 и погружают прибор в ведро с водой такой же плотности, предварительно перевернув пробку

Выполнение работы

Отделить доньшко поплавка от мерного стакана, доньшко и стакан промыть водой и насухо вытереть. Налить в ведро чистую воду (пресную или морскую), имеющую температуру 20 ± 5 °С, при этом уровень воды в ведре с погруженным в нее ареометром должен находиться ниже края ведра не более чем на 5 мм.

В мерный стакан ареометра налить воду из ведра, в котором производится замер, стакан при этом держать вертикально. Соединить доньшко со стаканом поворотом до упора.

Погрузить ареометр в ведро и вращением стержня согнать воздушные пузырьки. При стабильном положении прибора прочесть и записать показания и знак поправки по поправочной шкале.

Извлечь прибор из ведерка, отсоединить стакан от доньшка и вылить воду в ведро. Протереть внутреннюю часть стакана от капель воды.

Залить в мерный стакан ареометра предварительно приготовленный глинистый раствор и соединить стакан с поплавком.

Погрузить ареометр в ведерко с водой, вращением стержня согнать пузырьки воздуха и по делению основной шкалы, до которого ареометр опустится в воду, прочесть значение плотности промывочной жидкости. При надетом калиброванном грузе отсчет брать по левой шкале с оцифровкой от 0,9 до 1,7 г/см³. Если ареометр при надетом калибровочном грузе погрузится так, что шкала окажется под уровнем воды в ведре, то следует снять груз и отсчет брать по правой части основной шкалы с оцифровкой от 1,7 до 2,6 г/см³.

Плотность промывочной жидкости равна алгебраической сумме показаний основной и поправочной шкал. Для достоверности результатов измерений необходимо провести не менее трех опытов.

Весы рычажные - плотномер ВРП-1 предназначен для измерения плотности буровых, цементных растворов и жидких химических реагентов, нейтральных к алюминию и имеющих температуру от плюс 5 до плюс 80 °С. Весы могут использоваться в помещениях, при отсутствии вибрации и воздушных потоков в районах с умеренным климатом. Рычажные весы (рисунок 4) состоят из следующих составных частей: подставки 8 и подвижной части, состоящей из рычага 5, жестко закрепленного с мерным стаканом 1, на

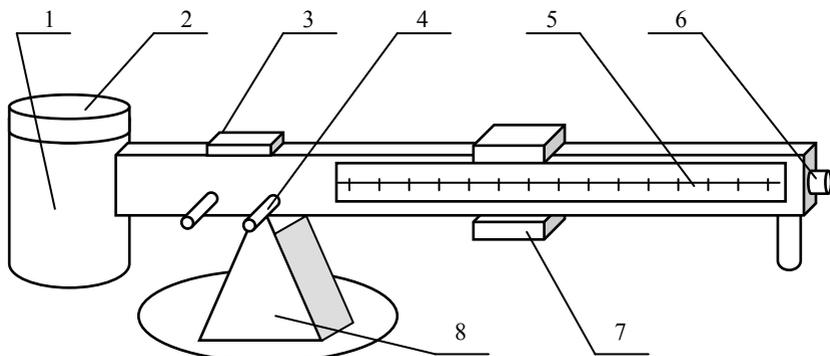


Рис. 4 Весы рычажные – плотномер ВРП-1

который надевается крышка 2. Соединение подвижной части весов с подставкой осуществляется с помощью одной из призм 4, укрепленной на рычаге и вкладыша, укрепленного на подставке 8.

На рычаге весов расположены 2 шкалы с диапазонами измерений: по верхней шкале от 0,8 до 1,6 г/см³; по нижней шкале от 1,6 до 2,6 г/см³.

Замеры по верхней шкале осуществляются путем установки весов на правую призму и перемещению движка 7, замеры по нижней шкале осуществляются путем установки весов на левую призму и перемещению движка 7. Принцип работы рычажных весов основан на уравнивании моментов левого и правого плеча подвижной части весов, относительно опоры на призмах. Весы считаются уравновешенными, если пузырек ампулы уровня 3, прикрепленного на рычаге, находится между двумя центральными рисками ампулы. Тарировка прибора осуществляется с помощью винта 6.

Подготовка к работе

Установить подставку 8 весов на столе. Промыть мерный стакан 1 водой, протереть насухо, подготовить пробу раствора.

Порядок выполнения работы

Залить раствора в мерный стакан до верхней кромки и закрыть крышкой. Излишки раствора, вытекают через специальное отверстие в крышке, удаляются сухой тряпкой. Установить подвижную часть весов помощью правой призмы. Передвигая движок 7,

установить рычаг 5 в положение равновесия и прочесть показание плотности раствора по верхней шкале. Если плотность раствора окажется большей, чем предел измерения по верхней шкале, то подвижную часть весов необходимо переставить на левую призму и вести измерения по нижней шкале перемещая движок влево и вправо. После замера снять крышку 2 и вылить раствор из стакана 1. Промыть мерный стакан и крышку водой.

Обработка результатов и их представление. Отчет по лабораторной работе должен быть набран при помощи ПК, распечатан на листе формата А4 и содержать следующие разделы: цель работы; описание аппаратуры и материалов; результаты работы.

Лабораторная работа 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ. ИЗМЕРЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Цель работы. Определить условную вязкость глинистого раствора с помощью полевого вискозиметра СПВ-5. Определить динамическое напряжение сдвига и структурную вязкость глинистого раствора.

Вязкость – один из важнейших параметров промывочной жидкости. Она определяет не только величину гидравлических сопротивлений в циркуляционной системе скважины, но и характер, и величину проникновения промывочной жидкости в поры и трещины горных пород. С ростом вязкости ухудшаются условия очистки скважины от шлама и резко падает механическая скорость бурения.

В полевых условиях измеряют так называемую условную вязкость (T, c), которая определяется временем истечения 500 см^3 промывочной жидкости через вертикальную трубку вискозиметра.

Законы течения и деформации любого тела – предмет изучения **реологии**. Цель реологии – составить такую систему уравнений, которая бы связывала напряжения, деформации, скорости деформаций и была применима для любых тел. Поведение тела под воздействием внешних сил определяется его внутренней структурой, величиной и скоростью возникновения напряжений, характером их изменения.

Реологические свойства промывочных жидкостей относятся

к числу важнейших. Обусловлено это тем, что они оказывают существенное влияние практически на все показатели и процессы, связанные с бурением скважин. В частности, реологические свойства в значительной мере определяют степень очистки забоя скважины от шлама и охлаждения породоразрушающего инструмента, транспортирующую способность потока промывочной жидкости, величину гидравлических сопротивлений во всех звеньях циркуляционной системы скважины и гидродинамического давления на её стенки и забой в процессе бурения; амплитуду колебаний давления при пуске и остановке насосов, выполнении спуско-подъемных операций (СПО) и проработке скважины с расхаживанием бурильной колонны; интенсивность обогащения промывочной жидкости шламом, полноту её замещения тампонажным раствором в кольцевом пространстве между обсадной колонной и стенками скважины и др.

Перечень показателей, которыми характеризуют реологические свойства промывочных жидкостей, определяется выбором реологической модели, т.е. уравнения, описывающего связь между возникающими в жидкости напряжениями τ и скоростью её деформации или сдвига γ .

Первой реологической моделью, использованной для описания реологического поведения глинистых суспензий, была модель Бингама-Шведова:

$$\tau = \tau_0 + \gamma\eta, \quad (8)$$

где τ_0 – динамическое напряжение сдвига, Па; η - пластическая (структурная) вязкость, Па·с.

Динамическое напряжение сдвига косвенно характеризует сопротивление промывочной жидкости, возникающее при иницировании её течения. С увеличением динамического напряжения сдвига увеличивается удерживающая способность промывочной жидкости, но вместе с тем возрастают гидравлические сопротивления в циркуляционной системе скважины, амплитуда колебаний давления при пуске и остановке насосов и выполнении СПО, а также вероятность образования застойных зон с аккумуляцией в них выбуренной породы.

Пластическая (структурная) вязкость промывочной жидкости характеризует темп роста касательных напряжений сдвига при

увеличении скорости сдвига. С увеличением пластической вязкости возрастают гидравлические сопротивления в циркуляционной системе скважины и снижается ресурс работы насосов, а также доля гидравлической мощности, подводимой к забойному двигателю и долоту

Приборы и материалы

Лабораторная глиномешалка, мерный стеклянный цилиндр, весы с разновесами, образцы глины различного качества, техническая вода, вискозиметр СПВ-5 (ВБР-1, ВБР-5), ротационный пластометр ВСН-3.

Вискозиметр СПВ-5. Прибор (рисунок 5) предназначен для измерения вязкости буровых растворов, состоит из воронки 1 с вертикальной трубкой 2 и сеткой 4. В состав также входит мерная кружка 3.

Порядок выполнения работы

Приготовить раствор. Взяв в руки воронку, установить сетку на выступы, зажать нижнее отверстие пальцем правой руки и залить через сетку 700 см^3 испытуемой жидкости. Подставить мерную кружку под трубку вискозиметра. Убрав палец, открыть отверстие трубки и одновременно левой рукой включить секундомер. В момент заполнения кружки до краев промывочной жидкостью остановить секундомер, закрыть отверстие трубки пальцем и прочесть показания секундомера.

За условную вязкость промывочной жидкости принимается среднее значение результатов трех измерений, отличающихся между собой не более чем на 2 секунды. После каждого измерения мерную кружку и воронку с сеткой необходимо ополаскивать водой.

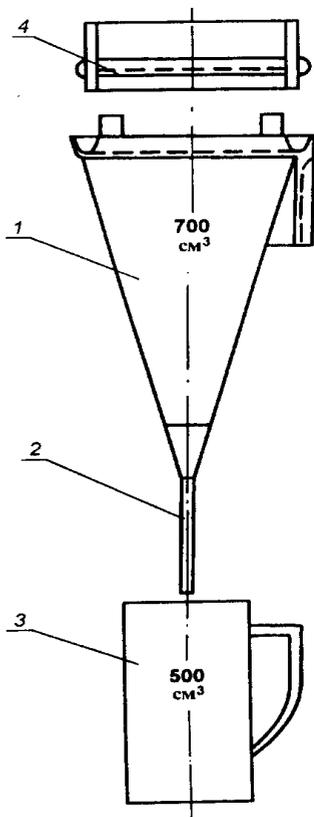


Рис. 5 Вискозиметр СПВ-5

Периодически проводят проверку постоянной вискозиметра: воронку подвешивают на стойке в вертикальном положении (отклонение от вертикали не должно превышать 10 град.), закрывают отверстие пальцем и заливают в воронку дистиллированную воду (допускается использование чистой пресной воды). Под трубку вискозиметра ставят мерную кружку, открывают отверстие трубки и по секундомеру отсчитывают время истечения воды из прибора. По трем замерам определяют среднее значение условной вязкости. Для пригодного к работе вискозиметра оно должно составлять $(15 \pm 0,5)$ с.

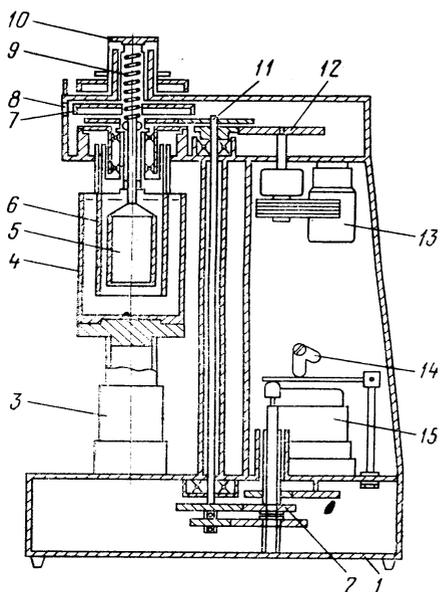


Рис. 6 Прибор ВСН-3

Прибор ВСН-3. Состоит из закрытого корпуса 1 (рисунком 6), измерительной системы привода и стакана 4 для испытуемой жидкости.

В корпусе 1 прибора смонтированы все механизмы вискозиметра.

Измерительная система включает подвесной цилиндр 5, гильзу 6, шкалу 7, пружину 9, крутильную головку 10. Испытуемая жидкость заливается в стакан 4, который опирается на телескопический столик 3. Гильза 6 приводится во вращение от двигателя 15 через редуктор 2, вал 11 и систему шестерен.

Для измерения статического напряжения сдвига прибор снабжен электродвигателем 13, который при соответствующем положении переключателя 14 редуктора вращает через шестерню 12 наружный цилиндр с частотой 0,2 об/мин. Конструкция прибора обеспечивает предварительное разрушение структуры промывочной жидкости путем вращения цилиндра 6 с большой частотой.

Принцип действия ВСН-3 основан на измерении момента сил трения, возникающего в кольцевом зазоре при вращении гильзы 6 и закручивающего подвесной цилиндр 5 на угол, пропорциональный возникающему моменту. Пружина 9 создает реактивный момент, препятствующий вращению подвесного цилиндра. Угол измеряется по отклонению «нуля» от шкалы 7 на смотровом окне 8. Привод вискозиметра обеспечивает четыре частоты вращения (200,300,400,600 об/мин) наружного цилиндра при определении динамического напряжения сдвига и структурной вязкости и одну (0,2 об/мин) при определении статического напряжения сдвига.

Порядок выполнения работы

Приготовить раствор. Для измерения структурной вязкости и динамического напряжения сдвига испытуемую жидкость залить в стакан и перемешать при частоте вращения 600 об/мин с целью разрушения структуры, а затем снять устойчивые показания углов закручивания шкалы прибора при 600, 400, 300 и 200 об/мин (за устойчивые показания углов закручивания принимаются углы, величины которых при вращении гильзы в течение 3 мин не меняются).

Структурная вязкость вычисляется по формуле:

$$\eta = A(\varphi_2 - \varphi_1)/(n_2 - n_1). \quad (9)$$

Динамическое напряжение сдвига соответственно:

$$\tau = \frac{A}{B} \left[\varphi_2 - \frac{n_2}{n_2 - n_1} (\varphi_2 - \varphi_1) \right]. \quad (10)$$

Здесь A и B – константы прибора (приводятся в паспорте); φ_1 и φ_2 – углы поворота шкалы, измеренные при соответствующих частотах n_1 и n_2 . За величины структурной вязкости и динамического напряжения сдвига принимают средние значения трех измерений.

Обработка результатов и их представление

Отчет по лабораторной работе должен быть набран при помощи ПК, распечатан на листе формата А4 и содержать следующие разделы: цель работы; описание аппаратуры и материалов; результа-

ты работы.

Лабораторная работа 4 **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ И** **КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ КОРКИ** **ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ**

Цель работы. Определить фильтрацию, толщину фильтрационной корки и коэффициент трения корки бурового раствора.

Водоотдача (фильтрация) промывочной жидкости – это способность её отфильтровывать жидкую фазу под влиянием избыточного давления. Водоотдача раствора является наиболее важным его параметром при бурении в рыхлых, слабосцементированных, пористых и трещиноватых породах. Глинистый раствор с большой водоотдачей образует в скважине толстую и рыхлую корку, сужающую ствол скважины и вызывающую затяжки и прихваты бурового инструмента при подъеме. Проникновение водного фильтрата в породы, окружающие ствол скважины, может вызвать набухание и обрушение этих пород, а также снижение дебита продуктивных пластов. Снижением водоотдачи можно предупредить эти осложнения.

Для определения показателя фильтрации и коркообразующих свойств бурового раствора используют фильтр-пресс. Буровой раствор фильтруется в камере фильтр-пресса при заданной температуре и давлении за определенный промежуток времени. Для получения сравнительных данных об объеме жидкости, ушедшей в породу, измеряют толщину фильтрационной корки (в миллиметрах), отложившейся на фильтровальной бумаге. Также оценивается ее плотность, рыхлость, ломкость, липкость, скольжение тел на ее поверхности. Эти косвенные характеристики корки дают дополнительную информацию о состоянии раствора и характере шлама, находящегося в нем.

В полевых условиях может определяться показатель фильтрации при температуре до 100°C и давлении 7атм (100psi) на фильтр-прессе АНИ (рис. 7) и при температуре выше 100°C и перепаде давления 35атм (500 psi) на НТНР фильтр прессе (рис. 8).



Рис.7 Фильтр – пресс АНИ

Процедура замера на фильтр-прессе АНИ

1. Соберите детали чистого и сухого фильтр-пресса, используя комплектную для прибора фильтровальную бумагу. Порядок сбора указан в паспорте фильтр-пресса. 2. Залейте буровой раствор в контейнер так, чтобы он приблизительно на 1,5см не доходил до верха (заполняйте контейнер доверху в том случае, когда в растворе необходимо сохранить газ) и установите его на опору рамы фильтр-пресса. Верхнюю крышку установить на контейнер, зажать винтом рамы до упора, клапан подачи газа – в рабочее положение (в камеру). 3. Установите мерный цилиндр для приема фильтрата и с помощью редуктора подайте давление 7атм ($100\pm 5\text{psi}$), включив при этом таймер или секундомер. 4. Через 30 минут давление стравливают (клапан подачи газа в положении стравливания), в мерном цилиндре отмечают объем фильтрата (в миллилитрах), который и является показателем фильтрации. Разобрав фильтр-пресс (в обратном порядке) и вылив раствор из контейнера, осторожно снимите фильтровальную бумагу с фильтрационной коркой и под слабой струей воды смойте избыток бурового раствора. Толщину фильтрационной корки измеряют с точность до 1/2мм. Также полезно запи-

сать и комментарии о состоянии фильтрационной корки. 5. После использования тщательно вымойте и вытрите насухо части прибора.



Рис.8 Фильтр – пресс НТНР

Примечание: По спецификации АНИ площадь фильтрования в камере должна составлять $7,1 \text{ дюйм}^2$. Однако есть фильтр-прессы, площадь фильтрования в которых в два раза меньше. Для того, чтобы полученный на таком фильтр - прессе результат согласовывался с требованиями АНИ, его нужно удвоить.

Толщина фильтрационной корки измеряется в миллиметрах и обозначается буквой *K*.

Коэффициент трения фильтрационной корки бурового раствора определяется в условиях промышленных лабораторий и на буровых с целью выявления эффективности смазочных добавок и оперативного вмешательства в технологический процесс бурения в осложненных условиях.

Прибор КТК используют для измерения коэффициента трения корки, образующейся после фильтрации бурового раствора.

Коэффициент трения определяется как тангенс угла наклона, при котором деталь, нормализованная формой и весом, создающая удельное давление на поверхность опоры равно $7,85 \text{ г/см}^2$, начнет двигаться по корке.

Прибор КТК- 2 (рис.9) состоит из следующих основных узлов: столика – основания 1, регулировочных винтов 2, подъемной плиты 3, электродвигателя 4 (ДСМ-2), установленного на корпусе 8, который крепится к подъемной плите, ложа 5, груза 9, основной шкалы 10, шкалы нониуса 11.

Основание – столик опирается на лабораторный стол двумя регулировочными винтами 2 и ножкой 12. Подъемная плита 3 поворачивается вокруг горизонтальной оси 7 с момента включения электродвигателя 4. Для возвращения плиты в исходное состояние (установка на «0») в корпусе расположена кнопка 13. На подъемной плите закреплено ложе 5 с цилиндрической поверхностью диаметром 60 мм, на которое устанавливается груз 9 диаметром 38 мм и весом 140 г.

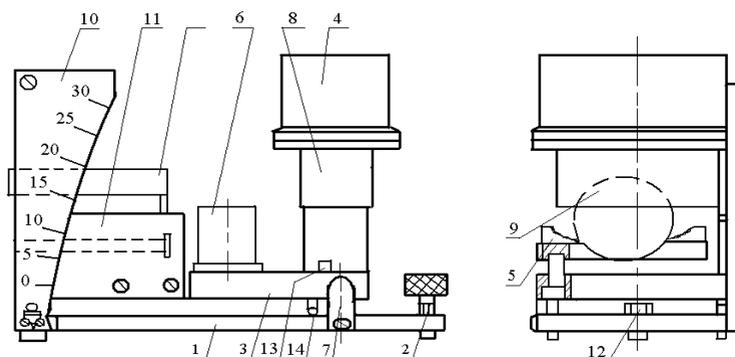


Рис.9. Прибор КТК-2

Принцип действия устройства основан на определении угла подъема φ (в градусах) подвижной плиты в момент страгивания цилиндра и перевод его значения в коэффициент трения по прилагаемой к устройству таблице тангенсов.

Подготовка к работе. Проверить совмещение нулевого штриха шкалы 11 нониуса, расположенного на подвижной плите, с нулевым штрихом основной шкалы 10. При отсутствии совмещения его необходимо добиться с помощью ножки. Установить на подвижную плиту уровень 6. Винтами 2 установить пузырек уровня в центральное положение.

Порядок выполнения работы. Вставить штепсельную вилку в розетку. Фильтр, с образовавшейся на нем коркой после измерения водоотдачи, установить на ложе, затем опустить сверху на корку груз. Включателем на шнуре включить питание на двигатель, после срабатывания кнопки (слышен щелчок) приводится в движение подъемная плита, при этом следует наблюдать за положением груза. В момент срабатывания груза прибор отключить от сети. Определить по шкале угол подъема плиты. Если штрих нониуса с обозначением «0» совпадает с каким-либо штрихом основной шкалы, то отсчитывается целое значение угла только по основной шкале. Если этот штрих не совпадает ни с одним штрихом основной шкалы, то отчет состоит из двух частей: целое значение угла, кратное 1° , определяют по ближайшему меньшему значению основной шкалы, и к этому значению добавляют дробное значение размера по нониусу, которое определяется значением штриха нониуса, совпадающим со штрихом основной шкалы.

Полученное значение угла φ в градусах перевести в коэффициент трения ($K_{тр} = \text{tg}\varphi$) по прилагаемой к прибору таблице и занести в журнал регистрации параметров промывочной жидкости.

При задержке опускания столика после нажатия кнопки 13 указательным пальцем надавить на упор 14 в направлении регулировочных винтов 2 столик опустится.

Обработка результатов и их представление. Отчет по лабораторной работе должен быть набран при помощи ПК, распечатан на листе формата А4 и содержать следующие разделы: цель работы; описание аппаратуры и материалов; результаты работы.

Лабораторная работа 5 **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДВИЖНОСТИ ТАМПОНАЖНОГО РАСТВОРА**

Цель работы. Определить растекаемость тампонажной смеси.

Подвижность раствора характеризует возможность его прокачивания насосом, определяет величину гидравлических сопротивлений при тампонировании и особенности поведения раствора при заполнении каналов. На практике подвижность оценивают по растекаемости тампонажного раствора, которая определяется на

конусе АзНИИ. От подвижности раствора в первую очередь зависит всасывающая способность насоса. Считается, что удовлетворительное всасывание обеспечивается при растекаемости не менее 17-18 см. Подвижность тампонажных составов определяется не только рецептурой, но и временем и интенсивностью перемешивания при приготовлении. Это особенно актуально для растворов на основе минеральных вяжущих материалов. Поэтому растекаемость как критерий подвижности – весьма условный параметр.

Приборы и материалы

Емкость для замеса, гипс, цемент, песок, техническая вода, конус АзНИИ.

Прибор АзНИИ. Состоит из

усеченного конуса-кольца 1 массой 300 г (рисунок 10), имеющего внутренние диаметры верхнего основания 36 и нижнего 64 мм, высоту 60 мм, объем 120 см³. Конус устанавливается на съемное стекло 2, которое, в свою очередь, помещают на круглую плиту, рассеченную концентрическими окружностями. С помощью регулировочных винтов 3, служащих одновременно и опорами прибора, плита со стеклом предварительно по уровню устанавливается в горизонтальное положение.

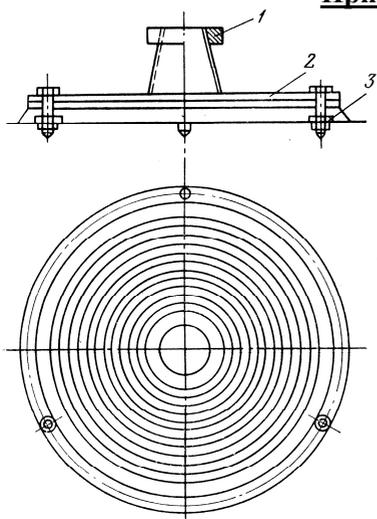


Рис. 10 Прибор АзНИИ

Конус ставится в центре круга.

Порядок выполнения работы

Для измерения растекаемости готовят 250 см³ раствора заданного состава и после перемешивания в течение 3 мин заливают его в конус вровень с верхним кольцом. Затем конус плавно поднимают вверх, и раствор растекается по стеклянному кругу основания. Во взаимно перпендикулярных направлениях определяют наибольший и наименьший диаметры круга расплыва и по ним вычисляют средний диаметр в сантиметрах.

Обработка результатов и их представление

Отчет по лабораторной работе должен быть набран при помощи ПК, распечатан на листе формата А4 и содержать следующие разделы: цель работы; описание аппаратуры и материалов; результаты работы.

Лабораторная работа 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ

Цель работы. Определить сроки схватывания смесей различного состава.

Сроки схватывания тампонажных растворов – условные параметры, так как в их основу положены условные критерии. Процесс образования структуры раствора и превращения его в тампонажный камень по физико-химической сути относится к переходу от стадии коагуляции к стадии кристаллизации. На сроки схватывания влияют давление, минерализация пластовых вод и химический состав тампонируемых пород. Однако попытки выполнять измерения с учетом этих факторов при существующих методах определения сроков схватывания не имеют смысла. Такой учет дает лишь качественную картину изменения процесса схватывания.

В то же время для успешного тампонирования скважин нужно четко знать время, которым располагают исполнители для проведения работ. В этом отношении сроки схватывания дают самое общее представление об этом времени. Если начало схватывания наступает, например через 1 ч, это не значит, что исполнитель работ имеет в своем распоряжении этот час. Поэтому, готовя раствор для тампонирования скважины, исполнитель стремится подстраховаться и увеличить время начала схватывания, а это приводит к резкому уменьшению эффективности тампонажных работ.

Приборы и материалы

Емкость для замеса, гипс, цемент, песок, техническая вода, прибор ВИКа.

Прибор ВИКа. Состоит из круглого металлического стержня 4 (рисунок 11), свободно перемещающе-

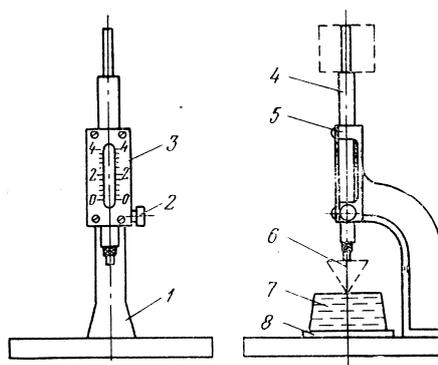


Рис.11 Прибор ВИКа

гося в вертикальной обойме 5 станины 1. Для закрепления стержня на желаемой высоте служит зажим 2. В нижнюю часть стержня 4 ввинчивается стальная игла 6 диаметром 1,1 мм и длиной 50 мм. На кронштейне станины укреплена шкала 3. В комплект прибора входит кольцо 7 с подставкой 8. Масса подвижной системы прибора 300 г.

Порядок выполнения работы

Для определения сроков схватывания готовят 300 см³ тампонажного раствора, который после трехминутного перемешивания заливается в кольцо с подставкой (перед заливкой раствора кольцо и подставка смазываются солидолом). Перед началом измерения игла должна слегка касаться поверхности раствора. Способ основан на периодическом погружении стержня (иглы) площадью сечения 1 мм² под действием нагрузки в 3 Н. По мере загустевания раствора движение иглы в нем замедляется. Время, прошедшее от момента затворения до момента, когда игла не доходит до подставки на 1 мм, называют временем начала схватывания. Время, прошедшее от момента затворения до момента, когда игла погружается в раствор не более чем на 1 мм, называют временем конца схватывания.

Обработка результатов и их представление

Отчет по лабораторной работе должен быть набран при помощи ПК, распечатан на листе формата А4 и содержать следующие разделы: цель работы; описание аппаратуры и материалов; результаты работы.

Лабораторная работа 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСИСТЕНЦИИ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ

Цель работы. Определить консистенцию тампонажной смеси.

Консистенция тампонажных растворов, применяемых при цементировании нефтяных и газовых скважин, характеризует время их загустевания. Эту характеристику используют для оценки текучести тампонажных композиций, загущающихся (за счет структурообразования) через некоторое время после замешивания.

Время, в течение которого условная вязкость образца тампонажного раствора достигает - 30 условных единиц консистенции (1 е.к. = 1 Ве, Ве - единица консистенции Вердена) от начала его перемешивания, называют временем загустевания.

Консистометр ZM1002 (рис. 12) предназначен для определения времени загустевания (консистенции) тампонажных растворов, применяемых при цементировании нефтяных и газовых скважин с динамической температурой на забое до 95 °С.

Консистометр работает в автономном режиме под управлением микропроцессорной системы. В диалоговом режиме оператор устанавливает параметры, необходимые для испытания тампонажных растворов. Результаты испытаний могут быть переданы через интерфейс RS 232 на персональный компьютер для печати, сохранения в архиве или обработки программами пользователя.

Диапазон определения консистенции - от 0 до 100 единиц консистенции.

Частота вращения рамки измерительной в цементном растворе - (150 ± 1) об/мин. Программно можно задать частоту вращения от 10 до 150 об/мин.

Принцип действия консистометра основан на определении крутящего момента, создаваемого на лопастном устройстве (рамке) тампонажным раствором при его загустевании, при вращающейся с заданной скоростью рамкой.

Крутящий момент на лопастном устройстве воспринимается датчиком момента, который преобразует момент в ШИМ-сигнал. По

величине ШИМ-сигнала производится измерение крутящего момента в единицах консистенции.



Рис. 12 Консистометр ZM1002

За единицу консистенции (е.к.) принимается консистенция раствора, создающего момент 20 г·см. Измеренное значение момента (е.к.) отображается на индикаторе.

Нагрев пробы тампонажного раствора в стакане производится инфракрасными излучателями с заданной скоростью нагрева до достижения заданной оператором температуры. Выход на температурный режим разогрева с заданной скоростью осуществляется с задержкой около 5 минут. Это связано с теплоёмкостью стакана с пробой раствора. В дальнейшем температура автоматически поддерживается до завершения испытания. Прибор завершает испытание при достижении заданного оператором значения консистенции раствора. При этом выключаются нагрев и вращение стакана с пробой, а также подается звуковой сигнал.

Задание значений: температуры, скорости нагрева и консистенции производится оператором перед проведением испытания.

Введенные оператором параметры испытания (скорость нагрева, температура и консистенция) запоминаются во внутренней энергонезависимой памяти.

Консистометр позволяет записывать в память текущие значения температуры и консистенции в ходе испытания через, заданные оператором, промежутки времени - от 0,1 до 9,9 мин.

Порядок выполнения работы. Заполнить стакан пробой тампонажного раствора до кольцевой риски во внутренней части стакана - примерно 18 мм от верхней кромки.

На хвостовик измерительной рамки надеть диск из стекло-текстолита и вставить рамку в верхнюю часть измерительного блока - поворачивая измерительную рамку вокруг оси; зафиксировать её.

Стакан с пробой вставить в нижнюю часть измерительного блока и повернуть его вокруг оси до фиксации.

Верхнюю часть измерительного блока с установленной в нём измерительной рамкой осторожно соединить с крышкой стакана с пробой, опустив измерительную рамку в стакан.

После включения электропитания консистометр переходит в режим готовности, при этом на индикаторе высвечиваются параметры.

В этом режиме можно поменять любой из параметров, отображаемый в четырёх строках индикатора. Для этого кнопками «↑» или «↓» подвести курсор к изменяемому параметру и нажать кнопку «ВВОД». При этом консистометр переходит в режим изменения параметра и справа от изменяемого параметра появляется мигающий курсор. При необходимости, нажимая кнопку «←», удалить предыдущее значение и ввести новое. Если введённое значение некорректно, то на экране отобразятся допустимые значения.

Если значения, установленные в предыдущем испытании, приемлемы, то приступите к проведению испытания, нажав кнопку «ПУСК». При этом на индикаторе будут отображаться текущие параметры испытания.

Испытание будет продолжаться до того момента, пока значение консистенции не достигнет установленного оператором значения (отображается в скобках - справа от текущего значения).

Испытание можно прервать в любой момент времени, нажав кнопку «СТОП». В этом случае отключится нагреватель, и электродвигатель прекратит вращение.

После проведения испытаний необходимо незамедлительно очистить стакан с пробой от испытываемого раствора. Задержка может привести к отверждению цементного раствора и повреждению измерительной рамки при механической очистке стакана.

Для просмотра результатов испытаний необходимо нажать кнопку «МЕНЮ». Перемещая курсор кнопками «↑» или «↓», выбрать режим «Трассировка памяти» и нажать кнопку «ВВОД».

Внутренняя память консистометра организована как кольцевой буфер на 245 шагов записи. При заполнении всего объема буфера, консистометр продолжает испытания, затирая информацию, записанную в начале испытаний. После проведения испытаний информация в памяти всегда доступна во временном окне, укладываемом в объеме буфера, от некоторого момента времени до завершения испытаний.

Консистометр КЦ-5 (рис.13), представляющий собой своеобразную механическую мешалку, состоит из стакана для цементного раствора 1 приводимого во вращение электродвигателем 3 и рамки с лопастями 2, помещаемой внутрь стакана. При вращении стакана, заполненного цементным раствором, между раствором и лопастями возникают силы трения, приводящие к повороту рамки и закручиванию калиброванной пружины.

Шкала консистометра 9 градуирована либо в единицах консистенции, либо в градусах, соответствующих углу закручивания измерительной пружины. В последнем случае к консистометру прилагают тарировочную кривую с зависимостью между углом закручивания пружины в градусах и единицами консистенции (Па·с).

Начальную консистенцию тампонажного раствора определяется через 20 мин. испытания. Цементный раствор считается достаточно подвижным, если его начальная консистенция не превышает 10-15 у.е.

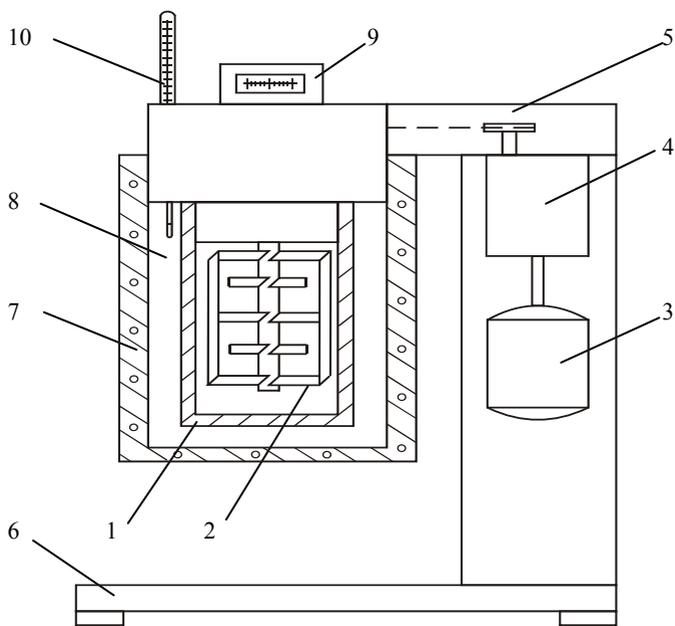


Рис. 13. Консистомер КЦ-5: 1 - стакан, 2 - рамка, 3,- электродвигатель, 4 - редуктор, 5 - кронштейн, 6 - станина, 7 - нагреватель, 8- водяная баня, 9 - шкала, 10 - термометр.

Порядок выполнения работы. При подготовке консистомера к эксперименту следует провести его холостой пуск. В рабочем положении рамка с лопастями не должна касаться внутренней поверхности вращающегося стакана, что подтверждается нулевым отчетом по шкале при включении двигателя и остановки (условный нуль соответствует 5 у.е.).

Снимают стакан и заливают в него до риски на внутренней поверхности тампонажный раствор (готовят 650 см^3).

Стакан фиксируется в рабочем положении с помощью байонетного замка.

Снаружи устанавливают электронагревательное устройство, заполненное необходимым количеством воды.

Время от момента затворения тампонажного материала до момента пуска прибора должно пройти не более 5 мин.

Скорость нагревания контролируют по показателям термометра и регулируют путем изменения напряжения питания электронагревателя. Интенсивность нагрева устанавливают в соответствии с заданием на испытание обычно 0,6-2,5 °С/мин.

После включения электродвигателя и системы нагрева через каждые 5 мин записывают температуру раствора и показания по шкале прибора.

Процесс измерения заканчивается при достижении консистенции раствора 50 у.е. В расчет принимается время от момента включения привода стакана (при условном нуле, равном 5 у.е.) до момента достижения основной вязкости 35° ВУ Точность расчета ±5 мин.

Обработка результатов и их представление. Отчет по лабораторной работе должен быть набран при помощи ПК, распечатан на листе формата А4 и содержать следующие разделы: цель работы; описание аппаратуры и материалов; результаты работы.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Калинин А.Г.* Бурение нефтяных и газовых скважин : учебник / А.Г.Калинин. - М. : ЦентрЛитНефтеГаз, 2008. - 848 с. - (Золотой фонд Российской нефтегазовой литературы). - Допущено УМО. - ISBN 978-5-902665-33-5 (УДК 622.279:622.24(075.8) Б 160328)

2. Технология бурения нефтяных и газовых скважин : учебник. – Тюмень : ТюмГНГУ, [б. г.]. – Том 1 – 2014. – 568 с. – ISBN 978-5-9961-0794-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/64514>

3. Бурение скважин различного назначения : учеб. пособие / Сердюк Н.И. и др. - 2-е изд. - М. : Изд-во РГГРУ, 2007. - 624 с. - Библиогр.: с.605-610 (115 назв.). - Допущено УМО. - ISBN 5-88595-14-01 (УДК 622.243 Б 159983)

4. *Вадецкий, Ю.В.* Бурение нефтяных и газовых скважин : учебник / Ю.В.Вадецкий. - 4-е изд. стер. - М. : Академия, 2008. - 352 с. - (Начальное профессиональное образование). - Библиогр.: с. 348 (10 назв.). - Допущено Министерством образования РФ. - ISBN 978-5-7695-5054-6 (УДК 622.23/24 Б 160381)

5. *Серета, Н.Г.* Бурение нефтяных и газовых скважин : учебник / Н.Г.Серета, Е.М.Соловьев. - стер. изд. - М. : Альянс, 2015. - 456 с. - Библиогр.: с. 451 (18 назв.). - Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР. - ISBN 978-5-903034-91-8 (УДК 622.24(075.8) Б 161495)

6. *Карпов К.А.* Строительство нефтяных и газовых скважин: учебное пособие / К.А. Карпов. – 3-е изд., стер.- Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 188 с. ISBN 978-5-8114-4712-1. <https://e.lanbook.com/reader/book/125439/#2>

7. *Власюк В.И.* Бурение и опробование разведочных скважин : учеб. пособие / В.И.Власюк, А.Г.Калинин, А.А.Анненков ; под общ. ред. А.Г.Калинина. - М. : ЦентрЛитНефтеГаз, 2010. - 864 с. - (Высшее нефтегазовое образование). - Библиогр.: с. 859-861 (39 назв.). - Рекомендовано УМО. - ISBN 978-5-902665-14-4 (УДК 550.8 Б 160813)

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Лабораторная работа 1	4
Определение категории горных пород по буримости на основе объединенного значения динамической прочности и абразивности пород.....	4
Лабораторная работа 2	10
Определение количества сырья.....	10
для приготовления раствора. определение плотности промывочных жидкостей.....	10
Лабораторная работа 3	15
Определение вязкости промывочных жидкостей. измерение реологических параметров промывочных жидкостей	15
Лабораторная работа 4	20
Определение показателя фильтрации и коэффициента трения фильтрационной корки промывочных жидкостей	20
Лабораторная работа 5	24
Определение подвижности тампонажного раствора	24
Лабораторная работа 6	26
Определение сроков схватывания	26
тампонажных растворов	26
Лабораторная работа 7	28
Определение консистенции тампонажных растворов	28
Рекомендательный библиографический список.....	34