

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра бурения скважин

Допущены
к проведению занятий в 2016-2017 уч. году
Заведующий кафедрой
профессор

«__» сентября 2016 г. _____

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
по учебной дисциплине
«БУРОВЫЕ СТАНКИ И БУРЕНИЕ СКВАЖИН»

Направление: 21.05.02 «Прикладная геология»

Специализация: «Геологическая съемка, поиски и разведка твёрдых
полезных ископаемых»

Разработал: доцент _____ А.Н. Дмитриев

Обсуждены и одобрены на заседании кафедры
Протокол № от «__» августа 2016 г.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2016

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предмет курса "Буровые станки и бурение 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 очистных агентов 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 УМГП-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 отраслевой 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 объемометра (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 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.

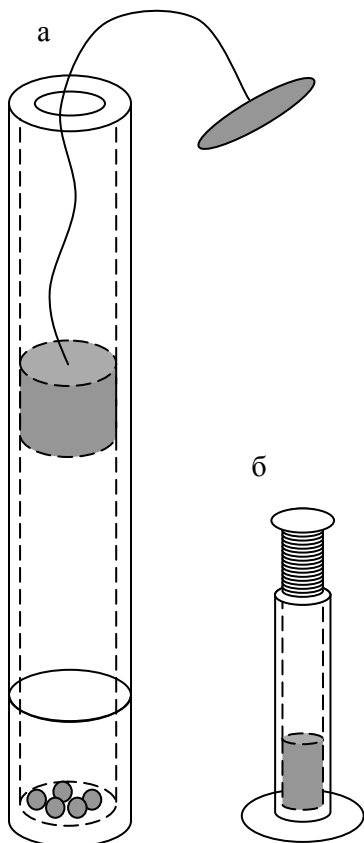


Рисунок 1 - Прибор для определения динамической прочности горных пород (ПОК):

а - трубный копер; б - объемомер

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 навеску дробы после опыта помещают в сосуд с водой и после перемешивания (споласкивания) извлекают и насухо вытирают чистым хлопчатобумажным материнком. Промытую дробь взвешивают. Потеря массы дробинок в каждой навеске должна быть 200 ± 10 мг. При отклонении потери массы дробинок от указанной необходимо изменить количество дробинок в навеске и повторить опыт.

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

Подготовка к испытанию

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

Заготавливают шесть навесок дробинок, в каждой по 21 дробинке диаметром 3,25 мм, или 26 дробинок диаметром 3,0 мм или 14 дробинок диаметром 3,5 мм. Повторное использование дробы запрещает-

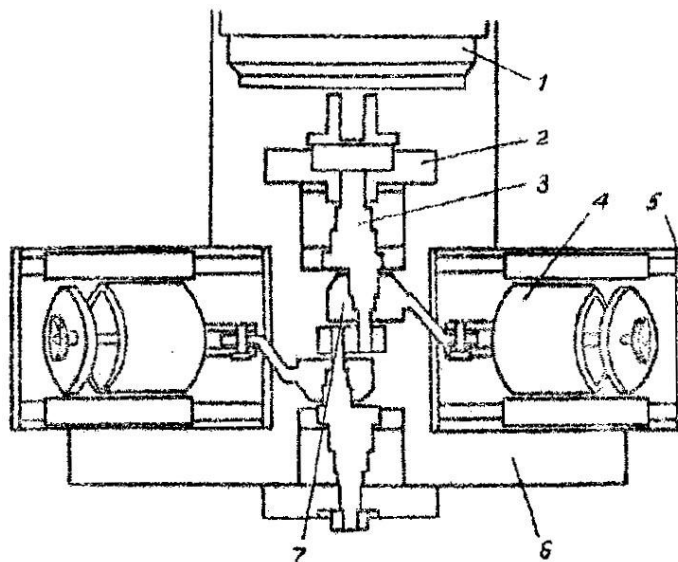


Рисунок 2 - Прибор ПОАП-2М для определения абразивности горных пород: 1 - электродвигатель; 2 - муфта; 3 - вал; 4 - рабочий орган; 5 - скоба; 6 - плата; 7 - шатун

ся. Каждую навеску дробы взвешивают с точностью до 10 мг.

В каждый загрузочный цилиндр загружают навеску дробы и включают его на 20 мин. За это время вал электродвигателя должен совершить 28000 оборотов, что контролируется счетчиком прибора.

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 см³ каждая. Эти пробы являются исходными для испытаний на приборе ПОАП-2М.

2. Определение абразивности.

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

Загрузочные цилиндры с дробью и пробами (1 см³) 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 СТАТИЧЕСКОЙ ТВЕРДОСТИ
И СВЯЗАННЫХ С НЕЮ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД С ПОМОЩЬЮ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ УМП-3 ПО МЕТОДУ Л.А. ШРЕЙНЕРА

Цель работы - ознакомление с одним из основных способов экспериментального определения твердости и других механических свойств горных пород - методом вдавливания плоских штампов, разработанном в лаборатории механики горных пород института геологии и разработки горючих ископаемых (ИНИРГИ) под руководством проф. Л.А. Шрейнера.

Задание

1. Изучить конструкцию установки УМП-3 и приобрести практические навыки экспериментального определения твердости горных пород с ее помощью.
2. Изучить и приобрести практические навыки в применении методики определения механических свойств горных пород по диаграммам деформации.
3. Ознакомиться с методикой математической обработки совокупности данных о твердости коэффициенте пластичности и других показателей механических свойств одного и того же образца горной породы и приобрести соответствующие практические навыки.
4. Определить по данным о твердости, пластичности и другим физико-техническим свойствам ожидаемой буримости горной породы.

Общие положения

Твердость - свойство тела оказывать сопротивление проникновению в него другого тела, не получающего остаточных деформаций. В отличие от понятия прочности, характеризующего сопротивление тела полному (объемному) разрушению твердость представляет собой сопротивление поверхностных слоев тела местному воздействию усилий и может определяться как местная (локальная) прочность на вдавливание. В связи с тем, что величина и размерность твердости зависят от метода и условий испытания, она не является универсальной физической постоянной величиной.

Твердость горных пород есть агрегатная твердость неоднородного поликристаллического тела, зависящая от структуры и текстуры породы, а также от степени ее влажности, температуры и напряженного состояния.

Твердость горной породы есть тот вид прочности, которую преодолевают рабочие элементы породоразрушающего инструмента при внедрении в породу забоя в процессе ее разрушения при бурении. Поэтому твердость является основной прочностной характеристикой горных пород при их разрушении в процессе бурения и основным критерием при определении осевых нагрузок на породоразрушающий инструмент для достижения объемного разрушения пород при бурении.

В зависимости от времени действия местных контактных напряжений условно различают: статическую твердость, полученную при относительно малых скоростях деформации и динамическую твердость, полученную при больших скоростях деформации. В нашем случае рассматриваются методы определения статической твердости.

В общих чертах процесс определения твердости и связанных с ней физико-технических свойств горных пород включает в себя внедрение в образец горной породы стального или твердосплавного пуансона получение диаграммы деформации породы и расчете по ней соответствующих характеристик. Для этой цели изготавливаются образцы горной породы определенной формы и качества поверхности, а также в соответствии с характером породы осуществляется правильный подбор пуансона. Успешное проведение эксперимента в значительной степени зависит как от качества подготовительных работ, так и от знания методики обработки диаграмм деформации.

**Классификация горных пород в зависимости от механизм
разрушения при вдавливании штампа**

В зависимости от механизма разрушения, развивающегося при вдавливании штампа, Л.А. Шрейнер, разделил все горные породы на три класса.

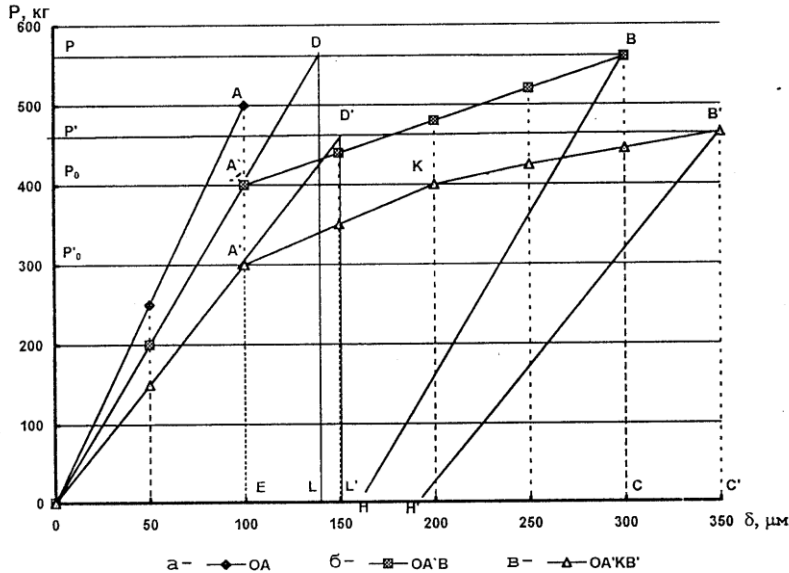
1 класс: упруго-хрупкие и хрупкие породы (гранит, кварцит, джеспилит и др.) в которых при вдавливании штампа происходят упругие деформации, завершающиеся мгновенным хрупким разрушением породы под штампом без заметной пластичной деформации. После внедрения штампа в образец на величину наибольшей упругой деформации δ , соответствующей максимальной нагрузке P , происходит хрупкое разрушение материала образца на глубину h , характеризующееся мгновенным внедрением в испытываемый образец. При этом зона разрушения значительно больше зоны контакта и наблюдается следующая закономерность:

$$\frac{\delta}{h} > 5.$$

2 класс: упруго-пластичные или пластично-хрупкие породы (мрамор, известняк песчаник и др.), в которых при вдавливании штампа происходят вначале упругие (обратимые), а затем пластические (остаточные) деформации, завершающиеся мгновенным разрушением породы под штампом, по внешнему виду напоминающих хрупкое разрушение. После внедрения штампа в образец на величину наибольшей суммарной - (упругой и пластической) деформации δ , соответствующей максимальной нагрузке P , происходит разрушение материала образца на глубину h . При этом зона разрушения также больше зоны контакта и их отношение определяется следующей зависимостью

$$\frac{\delta}{h} = (2,5 \div 5).$$

Большинство пород, хрупких при обычных способах разрушения, вследствие всестороннего сжатия при вдавливании штампа, приобретает пластические свойства и поэтому относятся ко второму



пористые (пемза, пористый известняк) при вдавливании штампа конусная лунка разрушения породы под штампом и сопровождается вначале в общем случае складыванием из деформации $\delta_{пл}$, т.е.:

деформации объема, а в пластических деформаций глубины h разрушение породы происходит без выхода зоны разрушения за пределы зоны контакта. При этом наблюдается следующая

что высокопластичные породы при разрушении не ограничиваются, дают хрупкое

разрушение с образованием лунки значительных размеров. Поэтому выделение таких пород в самостоятельный класс как не дающих хрупкого разрушения при вдавливании штампа, является несколько условным. Типовые диаграммы деформаций горных пород в упруго-пластичной области деформации: а - упруго-пластичные деформации с одним участком $A'B$ пластической деформации; б - упруго-пластичные деформации с двумя участками $A'K$ и KB' пластической деформации; в - упруго-пластичные деформации с двумя участками $A'K$ и KB' пластической деформации; P_0 (P'_0) - нагрузка условного предела текучести; P (P') - нагрузка при которой происходит общее хрупкое разрушение породы под штампом.

Для пород первого класса - упруго-хрупких или хрупких типовой график деформации характеризуется участком упругих деформаций OA , близким к прямолинейному (рис.3). Точка A соответствует нагрузке и деформации, при которых происходит хрупкое разрушение породы под штампом.

Отношение нагрузки P , действующей на штамп, к деформации породы δ , вызванной этой нагрузкой, называется жесткостью горной породы:

$$C_u = \frac{P}{\delta} = \operatorname{tg} \alpha,$$

где α - деформационный угол.

Для пород второго класса - упруго-пластичных или пластично-хрупких типовой график состоит из участка упругих деформаций OA' и одного $A'B$ (рис.3-б) или OA' и двух $A'K$ и KB' (рис.3-в) участков пластической деформации с уменьшающимися углами α_1 и α_2 . Все эти участки, как в упругой, так и в пластической области, изменяются приблизительно по линейному закону. В действительности переход от упругих к пластическим деформациям происходит относительно плавно. Учитывая малую величину возможной ошибки точки A' и A' определяют как пересечение участков упругих деформаций OA' и OA' и первых участков пластических деформаций $A'B$ и $A'K$. Точки B и B' соответствуют значениям соответствующим нагрузкам, при которых наступает общее хрупкое разрушение породы под штампом.

Если произвести разгрузку штампа в точке, весьма близко лежащей к точке разрушения В (В'), то график деформаций пойдет параллельно ОА' (ОА') до пересечения с осью Х в точке Н (Н'). Тогда отрезок ОН (ОН') по величине будет равен остаточной деформации, а отрезок НС (Н'С') по величине будет равен полной упругой деформации. Из равенства треугольников ODL (OD'L') и HBC (HB'С') следует, что OL=HC (OL'=H'С'). Следовательно отрезок OL (OL') соответствует величине полной упругой деформации, состоящей из чисто упругой деформации OE в упругой зоне плюс упругая деформация EL (EL') в пластической области образовавшейся вследствие накопления дополнительной упругой энергии в процессе пластического течения. Поэтому полная работа упругой деформации A_{yn} измеряется площадью треугольника ODL (OD'L'), а отношение DL/OL (D'L'/OL') пропорционально отношению:

$$\frac{\sigma}{\varepsilon} = E,$$

где σ - напряжение; ε - относительная деформация; E - модуль упругости.

Для пород третьего класса - высокопластичных и сильнопористых, которые при ограниченной деформации не дают хрупкого разрушения под штампом, типовой график состоит из участка OA упругих деформаций и участка AB остаточных деформаций, которые складываются из деформаций объема и пластических деформаций. Упругие деформации завершаются при нагрузке P , которая соответствует условному пределу текучести. Если деформация δ ограничивается конструкцией прибора, то для пород третьего класса условился график деформации продолжать до глубины вдавливания, равной диаметру штампа.

При испытании образцов на приборе УМГП-3 графики получаются в виде довольно гладких кривых. Причем для пород первых двух классов на диаграммах после образования выкола в образце регистрируется резкий спад нагрузки, после чего график приобретает пилообразный характер с заметным затуханием амплитуды колебаний. Последние вызваны колебаниями маятника после резкого опускания пуансона в образец горной породы в момент образования скола.

Методика определения механических свойств горных пород по диаграммам деформации

Твердость горной породы (твердость по штампу) является пределом местной прочности на вдавливание и определяется величиной нагрузки на единицу площади штампа, при которой оканчиваются упругие и пластичные деформации и происходит полное хрупкое разрушение породы под штампом. Для пород первого и второго класса твердость горной породы вычисляется по формуле:

$$P_{ш} = \frac{P}{S}, \text{ (Н/м}^2\text{)}$$

где P - нагрузка в момент хрупкого разрушения породы под штампом, Н; S - площадь основания штампа, (м²).

Для пород третьего класса, не дающих хрупкого разрушения под штампом за меру прочности при определении твердости принимается условный предел текучести σ_m горной породы, выражаемый нагрузкой на единицу площади штампа, при которой упругие деформации переходят в пластические. Эта нагрузка может быть определена приближено по графику деформации в точке, соответствующей началу отклонения кривой деформации от прямой OD (OD') (рис. 5-б, в), т.е. точке А' (А'). Условный предел текучести определяется также и для пород второго класса. Он вычисляется по формуле:

$$\sigma_m = \frac{P_0}{S}, \text{ (Н/м}^2\text{)},$$

где P_0 - нагрузка в точке А' (А') кривой деформации, Н.

Для типичных упруго-хрупких пород первого класса - пластических деформаций не наблюдается (рис.3 - а), поэтому для них условный предел текучести отсутствует.

Мерой пластичности породы может служить отношение общей работы $A_{об}$, затрачиваемой на деформацию и разрушение породы при вдавливании штампа и определяемой площадью ОА'BC (ОА'В'С') (рис.3-б, в), к работе упругих деформаций A_{yn} , определяемой площадью треугольника ODL (OD'L'). Это отношение Л.А. Шрейнер назвал коэффициентом пластичности. Если считать, что модуль упругости в пластической зоне не изменяется, то прямую ОА' (ОА') можно продолжить до значения нагрузки, соответствующей полному разрушению породы, точке D (D'). Тогда площадь треугольника ODL (OD'L') составит полную работу упругих деформаций, предшествующих разрушению породы, а коэффициент пластичности K будет равен:

$$K = \frac{S_{OA'BL}}{S_{OA'B'L'}} = \frac{A_{об}}{A_{yn}}$$

Коэффициент пластичности K наряду с деформациями пластического скольжения учитывает и уплотнение, происходящей при вдавливании штампа в пористые и малопрочные породы. Кроме того, в числитель и знаменатель зависимости входит работа деформации штампа $A_{ш}$, тогда:

$$K = \frac{A_{об} - A_{ш}}{A_{yn} - A_{ш}},$$

где

$$A_{ш} = \frac{P \cdot \Delta l}{2};$$

P - нагрузка, соответствующая пределу прочности породы на вдавливание (определяется по максимальной ординате графика деформации), Н; Δl - деформация всего штампа при нагрузке P , м.

$$\Delta l = \sum_{i=1}^n \Delta l_i,$$

где Δl_i - деформация отдельных частей штампа, имеющих отличное сечение, м.

$$\Delta l_i = \frac{P \cdot l_i}{E \cdot S_i}.$$

Здесь l_i - длина отдельной части штампа, м; E - модуль упругости материала штампа, Н/м²; S_i - площадь сечения соответствующей части штампа, м².

Для пород плотных и малопористых величина коэффициента пластичности не превышает 6. У пористых пород наблюдаются более высокие коэффициенты пластичности вследствие дополнительной остаточной деформации, обусловленной уплотнением. Так как при вдавливании штампа в высокопластичные или очень пористые породы разрушения под его основанием не происходит, то за меру твердости таких пород принимается предел текучести, а коэффициент пластичности условно принимается равным ∞ .

По графикам деформации (рис.3) приближенно можно определить модуль упругости E (модуль Юнга):

$$E = \frac{P(1 - \mu^2)}{\delta_{yn} \cdot d},$$

где P - нагрузка на штамп, обычно принимаемая 1000 Н (или любая другая, не вызывающая разрушения породы под штампом); μ - коэффициент Пуассона, численное значение которого берется из таблиц (для горных пород оно колеблется в пределах 0,10-0,40 и его среднее значение можно принять равным 0,25); δ_{yn} - упругая деформация породы при принятой нагрузке на штамп, м; d - диаметр штампа, м.

Важными характеристиками механических свойств горных пород являются упругая и общая работа до разрушения пород под штампом, а так же удельная объемная работа разрушения.

Для пород первого класса работа чисто упругих деформаций A_{yn} определяется площадью ODE (рис.3-а), а для пород второго класса полная работа упругих деформаций определяется площадью треугольника площадью ODL (OD'L') (рис.3-б, в). Аналитическим путем для пород первого и второго классов работа упругих деформаций может быть определена из следующего выражения:

$$A_{yn} = \frac{\pi^2 \cdot a^3 \cdot P_{ш}^2 (1 - \mu^2)}{4 \cdot E},$$

где a - радиус штампа, м.

Общая работа, затраченная на деформацию и разрушение породы под штампом, равна:

$$A'_{об} = A_{об} - A_{ш} = K(A_{yд} - A_{ш}).$$

Удельная объемная работа разрушения A_V определяется из следующего соотношения:

$$A_V = \frac{A'_{об}}{V},$$

где V - объем лунки разрушения в м³.

Из-за трудностей определения разрушенных объемов породы, связанных с тем, что размеры лунок зависят не только от механических свойств, но и от структурных особенностей породы, на практике используют непосредственные измерения каждой лунки разрушения. Один из способов основан на заполнении лунок пластилином или парафином с последующим взвешиванием слепка и определения объема по формуле:

$$V = \frac{Q}{\rho},$$

где Q - вес материала слепка с лунки, Н; ρ - плотность материала слепка, кг/м³.

Для пород третьего класса общая работа разрушения вычисляется условно. В этом случае график деформации продолжают до глубины вдавливания, равной диаметру штампа.

Удельная контактная работа разрушения A_s определяется как отношение:

$$A_s = \frac{A_{об}}{S},$$

где S - площадь плоского основания цилиндрического штампа, м².

Эту формулу можно привести к следующему виду:

$$A_s = \frac{\pi \cdot a^2 P_{ш}^2 K (1 - \mu^2)}{4E} = aA_v,$$

т.е. удельная контактная работа разрушения при вдавливании A_s увеличивается пропорционально величине радиуса a штампа.

Обработка результатов и их представление

Каждый график деформации породы, записанный на диаграммном бланке, обрабатывается в соответствии с изложенной методикой. Ниже приводится список показателей физико-технических свойств, которые необходимо вычислить в данной работе и соответствующие формулы для их вычисления: $P_{ш}$; σ_m ; K ; $C_{ш}$; $A_{ш}$; $A_{об}$; A_v ; A_s .

Значения работы $A_{ш}$ и $A_{об}$ желательно определить двумя путями: вычислением по указанным формулам и путем измерения на графиках соответствующих площадей с помощью планиметра (или путем подсчета клеток на миллиметровой бумаге).

Вычисление модуля Юнга E возможно только для тех случаев, когда известно точное значение μ .

По результатам вычислений выше указанных величин по единичным графикам деформации, полученных на одном образце горной породы, определяются их средние значения, средне квадратичные отклонения и коэффициент вариации по соответствующим формулам математической статистики.

Лабораторная работа 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА СЫРЬЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ РАСТВОРА

Цель работы. Освоение методики определения исходных компонентов (глины, воды) для приготовления раствора заданной плотности.

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 , см³ заданной плотности ρ_p , г/см³.

Требуемый объем глины, м³:

$$V_2 = \frac{\rho_p - \rho_6}{\rho_2 - \rho_6} V_p, \quad (1)$$

где ρ_6 - плотность воды, г/см³; ρ_2 - плотность глины, г/см³.

Требуемая масса глины, кг:

$$m_2 = V_2 \cdot \rho_2. \quad (2)$$

Требуемый объем воды, см³:

$$V_6 = V_p - V_2. \quad (3)$$

Масса воды, г:

$$m_6 = V_6 \cdot \rho_6. \quad (4)$$

2. Определение концентрации глины в растворе, %:

$$C_2 = \frac{100 \cdot m_2}{V_p \cdot \rho_p}, \quad (5)$$

где m_p - масса глины, г; V_p - объем глинистого раствора, см³; ρ_p - плотность глинистого раствора, г/см³.

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

$$Q_2 = \rho_p \cdot \frac{V_p \cdot (C_{cx} - C_2)}{100 - C_{cx}}, \quad (6)$$

где V_p - объем исходного глинистого раствора, см³; C_{cx} - требуемая концентрация глинистого раствора, %; C_2 - концентрация исходного глинистого раствора, %; ρ_p - плотность исходного глинистого раствора, г/см³.

4. Расчет необходимого объема воды для введения в глинистый раствор с целью уменьшения его плотности, см³

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

где V_o - объем добавляемой воды, см³; V_p - объем исходного глинистого раствора, см³; ρ_{px} - плотность требуемого глинистого раствора, г/см³.

Порядок выполнения работы

По формулам производят расчет необходимого количества глины и воды для приготовления 1 л. глинистого раствора плотностью 1,05 г/см³. Плотность используемого глинопорошка 2,6 г/см³. Взвешивают расчетное количество глины с точностью до 0,1 г и отмеряют необходимый объем воды.

С помощью лабораторной глиномешалки готовят раствор, размешивая его в течение 25-30 мин. Измеряют плотность приготовленного раствора с помощью ареометра АБР-1 (АГ-ЗПП). Вычисляют концентрацию глины в приготовленном растворе. Определяют необходимое количество воды для снижения плотности с 1,05 г/см³ до 1,03 г/см³. В раствор плотностью 1,05 г/см³ доливают расчетный объем воды, тщательно перемешивают и измеряют плотность.

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 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Цель работы. Определение плотности глинистого раствора при заданной концентрации твердой фазы.

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.

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).

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 4) состоит из мерного стакана 5, доньшка 6, поплавок 7, стержня 8 и съемного груза 1. Мерный стакан имеет две полости - емкость для пробы измеряемого 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 прорезы для слива излишков раствора. Плавучесть ареометра обеспечивает поплавковая камера. Она состоит из поплавка 7 и доньшка 6. Стержень 8 изготовлен из дюралевого трубки и крепится к поплавку на резьбе эпоксидным клеем.



Рисунок 4 - Ареометр АБР-1

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 г/см³ и 1,6-2,4 г/см³. 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/м³ и погружают прибор в ведро с водой такой же плотности, предварительно перевернув пробку на стержне ареометра.

При отклонении показаний ареометра от отметки (0 ± 10) кг/м³ 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/м³. После этого дробь высыпают в стержень ареометра и закрывают его пробкой.

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 ведро 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 5) состоят из следующих составных частей: подставки 8 и подвижной части, состоящей из рычага 5, жестко закрепленного с мерным стаканом 1, на 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

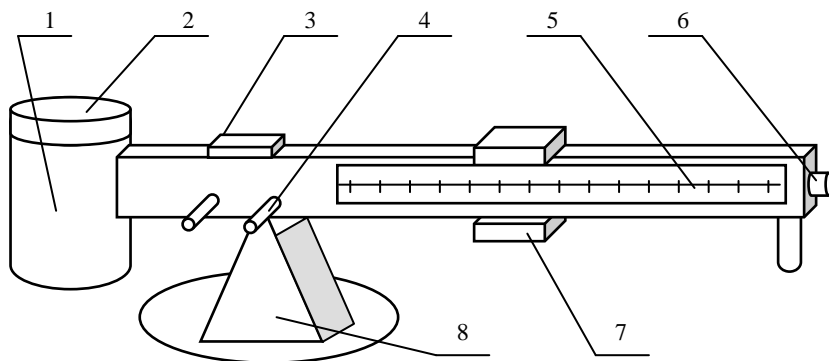


Рисунок 5 - Весы рычажные – плотномер ВРП-1

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 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

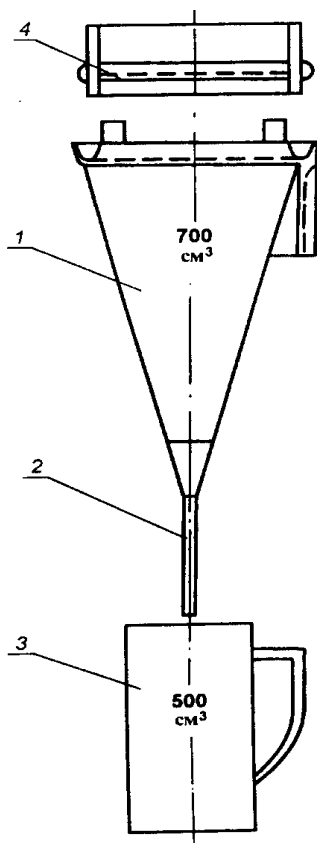


Рисунок 6 - Вискозиметр СПВ-5

Цель работы. Определить условную вязкость глинистого раствора с помощью полевого вискозиметра СПВ-5.

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.

Приборы и материалы

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

Вискозиметр СПВ-5. Прибор (рисунок 6) 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.

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.

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 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 7), 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. Конус ставится в центре круга.

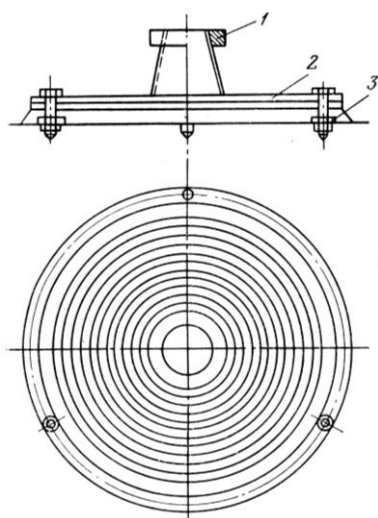


Рисунок 7 - Прибор АзНИИ

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 стеклянной плите 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 7 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 8), свободно перемещающегося 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.

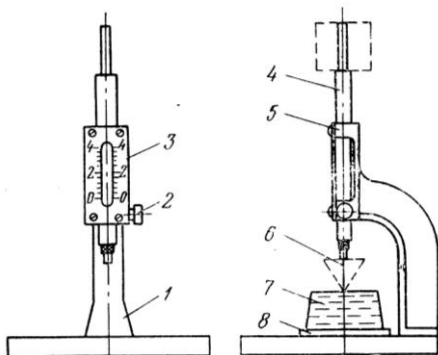


Рисунок 8 - Прибор ВИКа

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.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Булатов А.И. Тампонажные материалы и технология цементирования скважин. М.: Недра, 1977.
2. Бурение разведочных скважин: Учебник для вузов / Под общ. ред. Н.В. Соловьева. – М.: Высш. шк., 2007.
3. Ивачев Л.М. Промысловые жидкости и тампонажные смеси. М.: Недра, 1987.
4. Калинин Н.Г. Бурение нефтяных и газовых скважин (курс лекций): Учебник А.Г.Калинин, Российский государственный геологоразведочный университет/ Серия «Золотой фонд Российской нефтегазовой литературы». – М.: Изд. ЦентрЛитНефтеГаз, 2008.
5. Костырин В.И. Тампонажные материалы и химреагенты: Справочное пособие для рабочих. М.: Недра, 1989.
6. Литвиненко В.С. Основы бурения нефтяных и газовых скважин: Учебное пособие / В.С. Литвиненко, А.Г. Калинин. - Серия «Золотой фонд Российской нефтегазовой литературы». – М.: Высш. шк., 2007.
7. Справочник по бурению геологоразведочных скважин. – СПб.: ООО «Недра», 2000.

8. *Чубик П.С.* Квалиметрия буровых промывочных жидкостей. Томск: Изд-во НТЛ, 1999.

9. *Шрейнер Л.А.* Механические и абразивные свойства горных пород / Л.А. Шрейнер, О.П. Петрова, В.П. Якушев и др. М.: Гостоптехиздат, 1958.