

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ ПО
ДИСЦИПЛИНЕ
«Физика нефтяного и газового пласта»

Направление подготовки	21.03.01 Нефтегазовое дело	
Направленность (профиль)	Эксплуатация и обслуживание объектов добычи нефти	
Год начала обучения	2026	
Форма обучения	очная	очно-заочная
Реализуется в семестре	___4___	___4___

СОДЕРЖАНИЕ

Практическое занятие 1. Определение коэффициента общей (полной) пористости.....	98
Практическое занятие 2. Определение плотности образца керна.....	105
Практическое занятие 3. Оценка коэффициента пористости на учебном гелиевом порозиметре НЕР-Е.....	109
Практическое занятие 4. Метод определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной фильтрации	117
Практическое занятие 5. Определение абсолютной газопроницаемости пород-коллекторов.....	126
Практическое занятие 6. Определение остаточной водонасыщенности образцов пород методом центрифугирования.....	133
Практическое занятие 7. Определение коэффициентов водо- и нефтенасыщенности образцов породы.....	141
Практическое занятие 8. Определение карбонатности терригенных пород	148
Практическое занятие 9. Определение удельного содержания воды в керне на приборе и обводненности нефти.....	153
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	160
ЛИТЕРАТУРА.....	161

Практическое занятие 1

Определение коэффициента общей (полной) пористости

Цель: научиться определять коэффициент общей (полной) пористости.

Теоретическая часть

Пористость является важнейшим свойством, отличающим нефтяные и газовые пласты.

Под пористостью материала понимается наличие в нем между твердыми частицами, образующими этот материал, пустот – пор (трещин, каверн).

Коэффициентом общей (физической) пористости называется отношение объема всех присутствующих в пласте пор к объему пласта

$$m_{\text{пор}} = \frac{V_{\text{пор}}}{V}. \quad (1.1)$$

Измеряется коэффициент общей пористости в процентах от объема пласта или в долях единицы.

Природные поры можно разделить на открытые (сообщающиеся друг с другом) и закрытые (изолированные друг от друга).

Полезную емкость формируют лишь сообщающиеся между собой открытые поры.

Связность пор зависит от структуры порового пространства, от типа флюидов, заполняющих поровый объем, и от воздействия на пласт физическими полями. Некоторые технологии могут уменьшать физическую связность (например, из-за падения пластового давления при первичной добыче), а некоторые могут ее увеличивать (гидроразрыв, кислотные обработки и др.).

По происхождению поры делятся на первичные, сформированные на стадии образования осадочной породы (стадии седиментации и диагенеза), и вторичные, сформированные уже после образования породы (стадия литогенеза). Первичными являются поры между зернами (гранулами) осадочных пород, щели литогенетических трещин (усыхания осадков и остывания для магматических пород) и трещин напластования; каверны,

образующиеся при доломитизации известняковых осадков в морской воде, и каверны в эффузивных породах, вызванные выделением газов. Первичная пористость контролируется фаціальными условиями осадконакопления. В осадочных породах преобладающими являются первичные межзерновые (межгранулярные) поры. Вторичными являются поры, возникающие в результате процессов таких преобразований пород, как выщелачивание, дробление, возникновение трещин и др. Главнейшими вторичными пустотами являются тектонические трещины, карстовые каверны и поры, образовавшиеся в результате выветривания, разгрузки и других физико-геологических процессов.

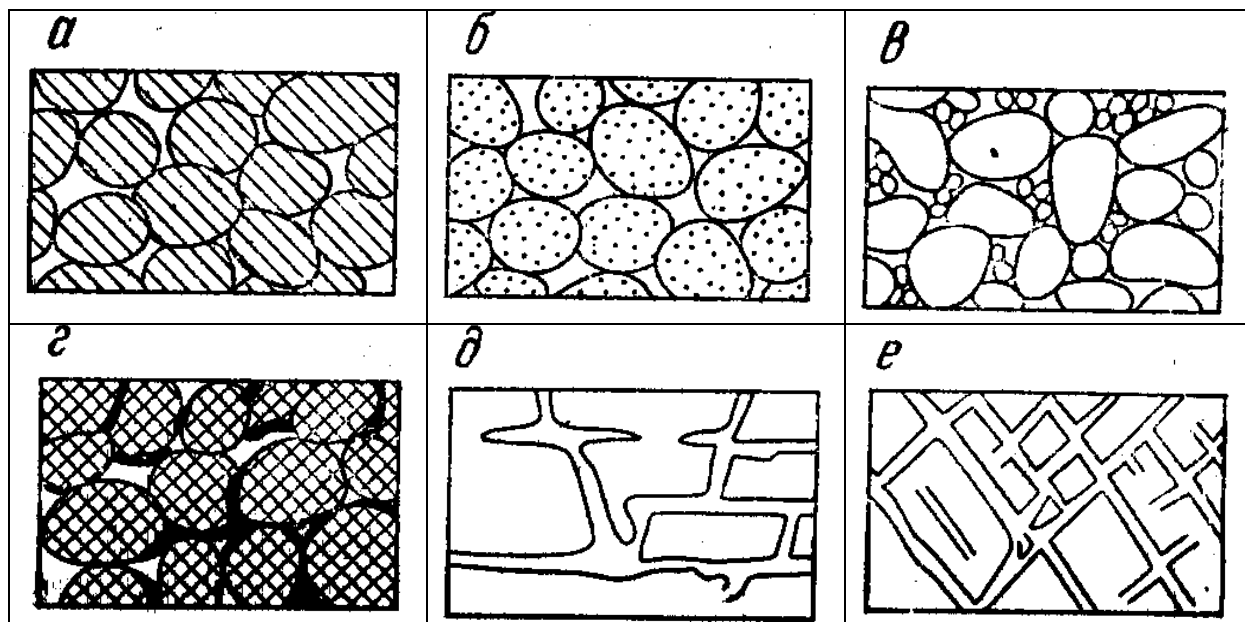


Рис. 1.1. Различные структуры поровых пространств

Обломочные породы: а – высокопористые с хорошо окатанными и отсортированными зернами; б – очень высокопористые с хорошо окатанными и отсортированными зернами; в – низкопористые с плохо окатанными и отсортированными зернами; г – пониженной пористости с хорошо окатанными отсортированными, но сцементированными зернами; д – с порами растворения; е - с трещинной пористостью (по О.Е.Мейнцеру)

Первичные поры осадочных пород называют межзерновыми или межгранулярными. Они имеют неправильные угловатые очертания. Такие поры характерны для терригенных пород - пески, песчаники, глины (см. Рис.1.1 а,б,в,г), а также для хомогенных разностей карбонатных пластов.

Вторичные поры характерны для карбонатных - известняки, доломиты, а также для некоторых метаморфических и магматических пород (см. рис.1.1г,д,е).

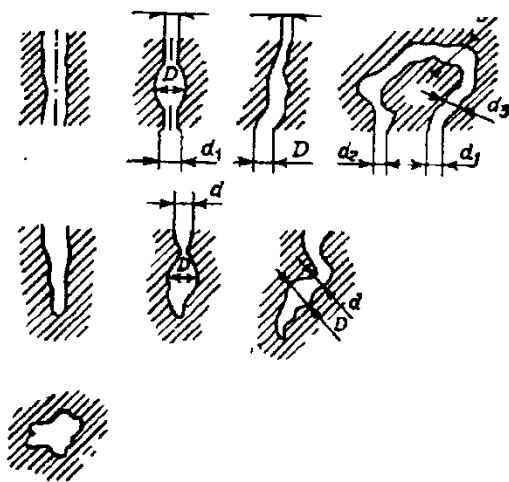


Рис. 1.2. Типы связанности пор: а) проточные поры; б) тупиковые; в) изолированные

Тип связанности пор зависит от условий формирования породы. Открытая пористость характерна для несцементированных и слабо сцементированных, отсортированных терригенных и карбонатных пород.

В процессе литогенеза для сцементированных разностей осадочных пород взаимосвязь между отдельными порами часто ухудшается вследствие перекрытия части пор цементом и их механического уплотнения (Рис. 1.2). В карбонатных пластах поры растворения (каверны) часто оказываются несвязанными друг с другом из-за закупорки связывающих их путей фильтрации вторичными минеральными выделениями (кальцит, гипс и др.).

Вторичная пористость нередко имеет определяющее значение в формировании полезной емкости пластовой системы. Это обусловлено тем, что большинство залежей нефти и газа при своем формировании претерпели многократные изменения текстурных и структурных характеристик, изменение структуры и морфологии порового пространства, а также минерального состава слагающих их пород.

Первичная пористость пород-коллекторов чаще всего характерна для залежей древнего геологического возраста, составляющих небольшую часть известных месторождений углеводородов.

Вторичная пористость способствует формированию сложного типа порового пространства. На базе первичных пор возникают вторичные – трещины и пустоты выщелачивания. Трещинная пористость, несмотря на малые объемы трещин, играет большую роль, увеличивая связность между отдельными порами и участками пор.

Вторичная пористость при незначительной трещинности является благоприятным фактором для интенсификации добычи с использованием гидравлических разрывов пласта и кислотной обработки.

Закрытая пористость характерна для магматических пород с пузырьчатыми и ячеистыми порами (например, пемза).

Общая пористость нефтяных и газовых пластов формируется межгранулярными порами, трещинами и кавернами. Коэффициент пористости обладает свойством аддитивности. Соответственно общую пористость можно представить в виде

$$m = \frac{V_{\text{Ггра}} + V_{\text{ТТ}} + V_{\text{Кка}}}{V} = m_{\text{гран}} + m_{\text{тр}} + m_{\text{кав}}, \quad (1.2)$$

где $V_{\text{гран}}$, $V_{\text{тр}}$, $V_{\text{кав}}$ - объемы гранулярных (межзерновых) пор, трещин и каверн, $m_{\text{гран}}$, $m_{\text{тр}}$, $m_{\text{кав}}$ - коэффициенты гранулярной, трещинной и кавернозной пористости.

В соотношении (1.2) V - это единичный объем пласта, в котором определяются объемы пор различного типа. Размеры единичного объема пласта должны быть настолько велики, чтобы включать в себя достаточно большое количество пор, трещин или каверн. Если это условие не соблюдается, то определение объемной концентрации пор различного типа будет неравноправным и из-за нарушения аддитивности соотношение (1.2).

Для промысловой практики выделение преобладающего типа пористости имеет большое значение, так как технологии разработки пластов с различными типами пористости различны.

В большинстве случаев при разработке месторождений нефти и газа приходится иметь дело со сложным типом пористости (гранулярно-трещинным, трещинно-каверновым и более сложным).

Величины $m_{\text{гран}}$, $m_{\text{тр}}$ и $m_{\text{кав}}$ используют для идентификации пластов по преобладающему типу пористости:

- чисто гранулярные коллекторы - m близки к $m_{\text{гран}}$;
- трещинные коллекторы $m \sim m_{\text{тр}}$;
- трещинно-кавернозные $m \sim (m_{\text{тр}} + m_{\text{кав}})$;
- трещинно-гранулярные $m \sim (m_{\text{тр}} + m_{\text{гр}})$.

Типичным для промысловой практики является «двойная» пористость, предполагающая наличие двух емкостных поровых сред. Одна из них - пористость межзерновой среды блоков (блочная или матричная пористость), вторая трещинная пористость – емкость самих трещин.

Пористость большинства коллекторов составляет от 5 до 30 %, но, как правило, находится в пределах 10-20 % (см.табл.1.1). Карбонатные залежи обычно имеют меньшую пористость, чем терригенные, однако последние могут иметь большую проницаемость.

Таблица 1.1.

Характерный диапазон и значения пористости пород-коллекторов

Характеристика	Пористость, %
Плохая	10
Удовлетворительная	20
Хорошая	20-30
Очень хорошая	30

Оборудование и материалы

Порозиметр

Указания по технике безопасности:

Для проведения занятий, качественной калибровки и точных измерений необходимо:

1. Отсутствие утечек в приборе.
2. Температура:

Прибор не должен быть установлен возле окна (особенно на солнце) или двери.

Температура в помещении должна быть стабильна.

Рабочий газ должен иметь ту же температуру, что и помещение.

3. Если в приборе есть утечки - тщательно проверьте и протяните при необходимости все соединения.

Содержание отчета

Порядок проведения работы

1. Экстрагированный и высушенный образец разделить на две примерно одинаковые части (первая используется для определения объема образца, вторая – для определения объема зерен).

2. Первый кусочек взвешивается с точностью до 0,01 г.

3. Первый кусочек помещается в стакан, который на 5 минут помещается для вакуумирования в колбу вакуумной установки.

4. В стакан заливают керосин и продолжают вакуумирование до полного прекращения выделения из образца пузырьков воздуха.

5. Пока идет насыщение, в порозиметр (см. рис.1.1.) наливают керосин, плотно закрывают стаканчиком, переворачивают.

6. Уровень керосина фиксируется по шкале после прекращения его увеличения.

7. Насыщенный кусочек вынимают из вакуумной установки, кладут на стекло и несколько раз перекачивают для осушения.

8. Образец помещают в порозиметр.

9. Порозиметр плотно закрывают стаканчиком, переворачивают, снимают второй отсчет по шкале (разница между вторым и первым отсчетами будет соответствовать объему образца).

10. Второй кусочек образца тщательно измельчают в фарфоровой ступке и взвешивают с точностью до 0,01 г.

11. Повторяют п.п. 5,7,8,9.

12. Результаты всех измерений заносят в таблицу 1.2. Все измеренные величины при занесении в таблицу должны быть приведены к единой системе единиц СИ.

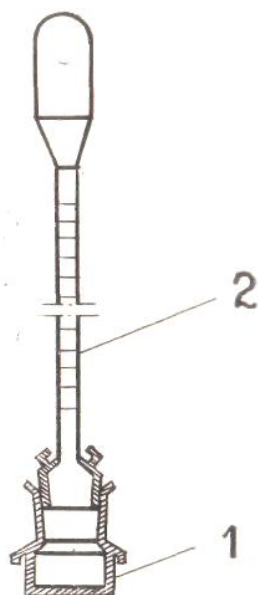


Рис. 1.3. Порозиметр
1 – проградуированная шкала ;
2 - стеклянный стаканчик.

Таблица 1.2.

Таблица для результатов исследования

Наименование величины	Обозначение	Значение
Масса сухого кусочка	M	
Отсчет по шкале без образца		
Отсчет по шкале с образцом		
Объем образца	V	
Плотность образца	ρ_n	
Масса зерен породы	M _з	
Отсчет по шкале без зерен		
Отсчет по шкале с зернами		
Объем зерен	V _з	
Плотность зерен	$\rho_з$	
Коэффициент общей пористости	m	

Обработка полученных результатов

1. Объем образца равен разнице отсчетов по шкале порозиметра с образцом и без него.

2. Плотность образца:

$$\rho_n = \frac{M}{V}. \quad (1.3)$$

3. Объем зерен равен разнице отсчетов по шкале порозиметра с зернами и без них.

4. Плотность зерен:

$$\rho_3 = \frac{M_3}{V_3}. \quad (1.4)$$

5. Коэффициент общей пористости:

$$m = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_3}\right) \cdot 100 \%. \quad (1.5)$$

Контрольные вопросы

1. Принцип работы порозиметра.
2. В чем измеряется пористость?
3. Что такое первичная и вторичная пористость? В чем разница?
4. Что такое эффективная и общая пористость? Дайте определение.

Практическое занятие 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ОБРАЗЦА КЕРНА

Цель. Научиться измерять плотность образца керна.

Теоретическая часть

Плотность горных пород зависит от их минерального состава, структурно-текстурных особенностей, *пористости*, вида вещества, заполняющего поры и пустоты (*газ, нефть, вода*), а также от условий образования и *залегания горных пород*.

Различают минералогическую плотность горных пород (отношение массы высушенных и измельчённых до исчезновения пор твёрдых частиц породы к объёму, ими занимаемому), плотность абсолютно сухой породы и плотность породы, заполненной *флюидами* (отношение массы твёрдой, жидкой и газообразной фаз горной породы к объёму, занимаемому этими фазами).

Измерение плотности горных пород на образцах ведётся главным образом гидростатическим способом, реже гамма-гамма методами. В естественном залегании плотность горных пород определяют по данным плотностного гамма-гамма-каротажа либо (что менее точно) оценивают по данным гравиметрических исследований в *горных выработках* или путём расчётов по гравиметрическим съёмкам.

Плотности природных газов $\delta_{\text{г}}$ изменяются от 0,7 до 3,0 кг/м³, жидкостей $\delta_{\text{ж}}$ – от 700 (нефть) до 1240 кг/м³ (сильно минерализованная пластовая вода). Плотности твердой фазы $\delta_{\text{т}}$ варьируют в пределах 1000-7000 кг/м³, сухих пород-0,5 г/см³-0,7 г/см³, влажных $\delta_{\text{п}}$ – от 1100-7000 кг/м³.

По прямым измерениям скелетного объема может быть определена пористость и минералогическая плотность образцов с известным весом.

При определении плотности сухой породы ее масса находится взвешиванием, а объем – одним из следующих способов: гидростатическим взвешиванием, объемным взвешиванием вводимой жидкости, пикнометрическим, определением объема образца по его размерам.

Из перечисленных способов используют наиболее часто первые два. Способ гидростатического взвешивания более точен, объемный способ требует меньшего времени.

Оборудование и материалы

Аналитические весы MS204S (производитель MettlerToledo, Швейцария)

Указания по технике безопасности: -

Для проведения занятий, качественной калибровки и точных измерений необходимо:

1. Отсутствие утечек в приборе.

2. Температура:

Прибор не должен быть установлен возле окна (особенно на солнце) или двери.

Температура в помещении должна быть стабильна.

Рабочий газ должен иметь ту же температуру, что и помещение.

3. Если в приборе есть утечки - тщательно проверьте и протяните при необходимости все соединения.

Задания

1. Взвесить образец керна;

2. Ввести в расчетную таблицу сухой вес образца в граммах (используйте файл «template.xls», созданный в лабораторной работе 6). Неточное значение повлияет на расчетную плотность.

3. После ввода автоматически будет рассчитан общий объем (DryWeight, столбец J).

Пример таблицы с данными образца (таблица 2.1):

Таблица 2.1.

Таблица для результатов исследования

Sample №	Sample name	Operator	Comment	Comment2	Comment3	Sample Dia (mm)	Sample Length (mm)	Bulk Vol (ml)	Dry Weight (g)
Номер образца	Наименование Образца	Оператор	Комментарии	Комментарии2	Комментарии3	Диаметр	Высота образца	Полный объем	Сухой вес

						обра зца			
1	Sample 01	JFM	Sandsto ne	Berea		30	38	7,5	25,6

Результаты расчетов

Результаты расчетов появятся автоматически после заполнения требуемых ячеек ввода. В случае отсутствия таблицы эксельрасчитать по формуле :плотность=вес разделить на объем

Столбец L (graindensity): *плотность образца*. Это значение может проверено по справочнику для соответствующей породы. Например, для песчаника плотность обычно 2,65 г/мл.

Содержание отчета

Исходные данные и результаты определений записываются в рабочую тетрадь по форме, приведенной в таблице 2.2.

Таблица 2.2.

Форма записи при определении пористости и плотности образца керна на учебном гелиевом порозиметре HeP-e

Но ме р об ра зца	Dat a time of test Дата за мера	Dry We ight (g) Су хой вес	Grai nVo l (ml) Ске лет ный объ ем	Grai nden sity (g/ml) Пло тно сть об ра зца	Por e Vol um e (ml) Объ ем пор	Poro sity (%) Пор ист ость	Ma trix typ е Ти п ма тр иц ы	Bille tsloa ded (1 to 6)* Загр уже нны е диск и (1 до 6)	Pref reco rded (psia) Дав лен ие в этал онн ой кам ере	Pex p (psi a) Дав ление в рабо чей ка ме ре	Pre f/P exp	V bi lle ts lo ad ed (V)	Last calibration involving дата прове дения кали бровки

При защите работы студент должен иметь отчет о выполненной работе и ответить на вопросы, предложенные преподавателем.

Контрольные вопросы и тестовые задания:

1. От чего зависит плотность горных пород?
2. Дать определение минералогическую плотность горных пород.
3. Как изменяются плотности природных газов δ_g ; жидкостей $\delta_{ж}$; твердой фазы δ_t ; сухих и влажных пород.

Практическое занятие 3

ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ПОРИСТОСТИ НА УЧЕБНОМ ГЕЛИЕВОВОМ ПОРОЗИМЕТРЕ НЕР-Е

Цель. Научиться определять коэффициент пористости на учебном гелиевом порозиметре НЕР-Е. Гелиевый порозиметр предназначен для прямого измерения скелетного объема образца керна. Принцип работы основан на законе Бойля-Мариотта.

Теоретическая часть

Гелиевый порозиметр НЕР-Е предназначен для прямого измерения при изотермических условиях скелетного объема образца в измерительной камере.

По прямым измерениям скелетного объема может быть определена пористость и минералогическая плотность образцов с известным весом.

Полный объем (Bulkvolume): геометрический объем образца, рассчитываемый из его длины и диаметра.

Скелетный объем (Grainvolume): объем твердых частиц образца.

Поровый объем (PoreVolume): объем связанных пор образца, в которые может проникнуть газ.

Пористость (Porosity): определяется как отношение порового объема к полному объему:

$$\text{Пористость} = \frac{\text{Поровый_объем}}{\text{Полный_объем}}, \quad (3.1)$$

$$\text{Поровый_объем} = \text{Полный_объем} - \text{Скелетный_объем}, \quad (3.2)$$

$$\text{Пористость} = \frac{\text{Полный_объем} - \text{Скелетный_объем}}{\text{Полный_объем}}. \quad (3.3)$$

Закон Бойля-Мариотта используется для расчета скелетного и порового объемов на основании двух измерений давления известных масс гелия. Газ изначально находится в эталонной камере известного объема при заданном давлении, а затем расширяется в рабочую камеру с образцом (кернодержатель). По закону Бойля-Мариотта:

$$\frac{P_{\text{ref}} * V_{\text{ref}}}{T_{\text{ref}}} = \frac{P_{\text{exp}} * V_{\text{exp}}}{T_{\text{exp}}}, \quad (3.4)$$

где P_{ref} - начальное давление газа в эталонной камере, V_{ref} - начальный объем газа; T_{ref} - начальная температура газа; P_{exp} - давление после расширения газа; V_{exp} - объем после расширения газа; T_{exp} - температура газа после расширения.

Температура предполагается постоянной в ходе эксперимента, $T_{ref}=T_{exp}$.

$$P_{ref} * V_{ref} = P_{exp} * V_{exp} . \quad (3.5)$$

Принцип работы гелиевого порозиметра НЕР-Е:

Измерение производится в тот момент, когда давление в рабочей камере и стандартной камере заданного объема выравнивается. Давление в камере составляет порядка 14 бар. Рабочая камера с образцом остается изолированной до момента открытия клапана и начала течения газа в стандартную камеру.

Установка для определения коэффициента пористости (схема - Рис. 3.1, общий вид Рис. 3.2).

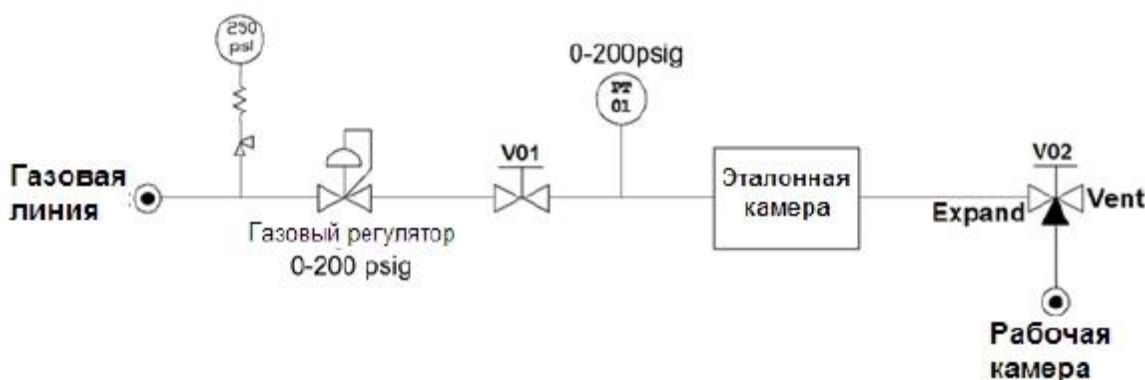


Рис. 3.1. Принципиальная схема установки для измерения пористости



Рис. 3.2. Общий вид прибора для измерения пористости

Составные части прибора:

Газовый регулятор, подсоединяемый к газовой линии в лаборатории

Предохранительный клапан в газовой линии

Эталонная камера (калиброванная на заводе)

Рабочая камера для образца керна

Кран V01 для отсечения подачи газа в прибор

Датчик давления для измерения давления в эталонной и рабочей камерах

Кран V02 для соединения/отсечения камер друг от друга.

Рассмотрим порядок выполнения лабораторной работы.

На первом шаге: кран V02 закрыт для разделения камер. Кран V01 открыт для нагнетания газа в эталонную камеру с давлением P_{ref} . Объем V_{ref} включает в себя эталонную камеру плюс соединительные трубки.

На втором шаге: кран V02 открывается (положение Expand) для расширения газа в рабочую камеру. В результате газ расширяется в рабочую камеру и заполняет поры находящего в ней образца. Так как в гранулы образца газ проникнуть не может, то объем рабочей камеры оказывается меньше на их объем V_{grain} . Тогда для объема получим:

$$V_{exp} = V_{ref} + (V_{matrix} - V_{grain}), \text{ а} \quad (6.6)$$

можно записать как:

$$V_{grain} = V_{ref} + V_{matrix} - V_{exp}, \text{ б} \quad (6.7)$$

где V_{ref} – объем рабочей камеры; V_{grain} – объем гранул образца; V_{matrix} – объем дисков (для калибровки).

Заменим V_{exp} в законе Бойля-Мариотта $P_{ref} * V_{ref} = P_{exp} * V_{exp}$ в *b* и получим:

$$V_{grain} = (V_{ref} + V_{matrix}) - \frac{P_{ref}}{P_{exp}} * V_{ref} \text{ с} \quad (3.8)$$

P_{ref} и P_{exp} считываются с цифрового манометра. V_{ref} , V_{matrix} и V_{dead} определяются в ходе калибровки прибора.

Ввод данных

Выберите файл «template.xls». Скопируйте его в новый файл и назовите, например, по текущей дате.

Введите данные в таблицу:

Samplename (столбец B)

Введите имя образца. В расчетах не используется.

Operator (столбец C)

Введите имя оператора. В расчетах не используется.

Comment 1, 2 and 3 (столбцы D, E, F)

Введите комментарии (например, глубину, номер скважины и т.п.). В расчетах не используется.

Samplediameter (столбец G)

Введите диаметр образца в мм, измеренный при помощи штангенциркуля.

Неточность в измерении приведет к неточности в результатах эксперимента.

Образец неправильной формы даст непредсказуемый результат.

Samplelength (столбец H)

Введите длину образца в мм, измеренную при помощи штангенциркуля.

Неточность в измерении приведет к неточности в результатах эксперимента. Образец неправильной формы даст непредсказуемый результат.

После ввода автоматически будет рассчитан общий объем.

DryWeight (столбец J)

Введите сухой вес образца в граммах. Неточное значение повлияет на расчетную плотность.

Пример таблицы с данными образца (таблица 3.1):

Таблица 3.1.

Таблица для результатов исследования

Sample № Номер образца	Sample name Наименование Образца	Operator Оператор	Comment Комментарии	Comment2 Комментарии2	Comment3 Комментарии3	Sample Dia (mm) Диаметр образца	Sample Length (mm) Высота образца	Bulk Vol (ml) Полный объем	Dry Weight (g) Сухой Вес
1	Sample 01	JFM	Sandstone	Berea		30	38	7.5	25.6

Date Time of test (столбец O)

Введите дату и время эксперимента. В расчетах не используется.

MatrixType (от 1 до 4) (столбец Р)

Необходимо указать для соответствия калибровке.

Для стандартной модификации HeP поставляется рабочая камера, подходящая для образцов диаметром до 38 мм. В этом случае укажите Matrixtype=2.

Если используется вставка для образцов диаметров 1", то укажите тип Matrixtype=1. Остальные типы могут использоваться, например, для камер для полноразмерных образцов керна.

Оборудование и материалы

Указания по технике безопасности:

Для проведения занятий, качественной калибровки и точных измерений необходимо:

1. Отсутствие утечек в приборе.
2. Температура:

Прибор не должен быть установлен возле окна (особенно на солнце) или двери.

Температура в помещении должна быть стабильна.

Рабочий газ должен иметь ту же температуру, что и помещение.

3. Если в приборе есть утечки - тщательно проверьте и протяните при необходимости все соединения.

Задания

Удостовериться перед работой, что все краны закрыты: на всех пермиаметрах краны закрыты (находятся в положении OFF), ручка на настенной панели выкручена против часовой стрелки.

Открыть баллон с гелием. Левый манометр показывает давление в баллоне. Правый должен быть выставлен на значении 12-13 бар.

Процедура измерения

1. Открыть баллон Гелия;
2. Измерить и занести в Excel Р Atm при открытой рабочей камере и открытом кране 2 (EXPAND), после замера закрыть кран V02 (CLOSE)

3. Измерить диаметр и высоту образца. Загрузить образец в рабочую камеру. Для более точных результатов использовать калибровочные диски (при использовании занести номер калибровочного диска в таблицу)

4. Открыть (запустить газ в эталонную камеру) и закрыть кран V01 . Удостовериться, что давление на манометре находится в диапазоне 190-200-210 psi. После стабилизации давление внести P_{ex} в Excel.

5. Открыть кран V02 в положение EXPAND (подаем газ в рабочую камеру) .

6. Дождаться стабилизации давления. Считать значение давления P_{ex} с манометра.

7. Ввести значение P_{ex} в отчет.

8. Запишите данные в файл отчета, сохраните и закройте его.

9. Переключите кран V02 в положение VENT (таким образом сбрасывается давление газа). Далее переключить кран V02 в положение CLOSE.

10. Откройте крышку рабочей камеры.

11. Выгрузите образец (и, если использовались) калибровочные диски.

12. Протрите уплотнительное кольцо (пальцем) и рабочую камеру.

13. Прикрутите крышку камеры обратно, но не затягивайте ее.

В случае расчета пористости нескольких образцов, можно пропустить пункт замера P_{atm} .

Окончание работы

1. Если планируется перерыв на 1-2 часа, то можно просто закрыть вентиль на баллоне с азотом.

2. Если планируется перерыв на сутки и более - закрываем вентиль на баллоне с азотом, кран V02 плавно в положение EXPAND, далее кран V01 в положение ON (выпустить газ из трубок и камер). Далее краны закрыть: кран V01 OFF и кран V02 (CLOSE)

(Результаты расчетов)

Результаты расчетов появятся автоматически после заполнения требуемых ячеек ввода.

Столбец K (grainvolume): скелетный объем.

Столбец L (graindensity): плотность образца. Это значение может проверено по справочнику для соответствующей породы. Например, для песчаника плотность обычно 2,65 г/мл.

Столбец M и N (Porevolumeandporosity): объем пор и пористость.

Столбец Y (Pref/Pexp): отношение давлений газа. Должно быть в диапазоне от 1.3 до 5. Подробнее смотрите в следующем разделе.

Столбец AC (lastcalibrationinvolved): дата проведения калибровки.

Калибровка должна регулярно проверяться.

Содержание отчета

Исходные данные и результаты определений коэффициента динамической пористости способом вытеснения пластовой воды увлажненным азотом записываются в рабочую тетрадь по форме, приведенной в таблице 3.2.

Таблица 3.2.

Форма записи при определении на учебном гелиевомпорозиметреHeP-e

Dry Weight (g) Сухой вес	Grain Volume (ml) Скелетный объем	Grain density (g/ml) Плотность образца	Pore Volume (ml) Объем пор	Porosity (%) Пористость	Data time of test Дата замера	Matrix type Тип матрицы	Billet loaded (1 to 6)* Загруженные диски (1 до 6)	Pref recorded (psia) Давление в эталонной камере	Pexp (psia) Давление в рабочей камере	Pref/Pexp	Villets loaded (V)	Last calibration involving дата проведения калибровки

При защите работы студент должен иметь отчет о выполненной работе и ответить на вопросы, предложенные преподавателем.

Контрольные вопросы :

1. Дайте определение «коэффициента пористости».
2. Какие виды объема используются при проведении лабораторной работы. Как они соотносятся между собой?
3. Дайте характеристику закону Бойля-Мариотта, используемого для расчета скелетного и порового объемов на основании двух измерений давления известных масс гелия.
4. Каково устройство и принцип действия установки для измерения коэффициента пористости?
5. Какие величины необходимы для расчета коэффициента динамической пористости?
6. Охарактеризуйте порядок (по шагам) выполнения лабораторной работы по определению коэффициенту пористости.
7. Охарактеризуйте процедуру измерения.

Практическое занятие 4

Метод определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной фильтрации

Цель изучить установку для определения газопроницаемости;
ознакомиться с методом определения газопроницаемости породы.

Теоретическая часть

Проницаемость – способность породы пропускать через себя жидкости и газы при наличии перепада давления. Она количественно характеризует фильтрационные свойства коллектора. Введены понятия абсолютной, эффективной (или фазовой) и относительной проницаемости.

Под абсолютной понимают проницаемость пористой среды, которая определена при наличии в ней лишь одной какой-либо фазы, химически инертной по отношению к породе. Абсолютная проницаемость характеризует свойства породы и не зависит от свойств фильтрующихся жидкости или газа и перепада давления, если нет взаимодействия флюидов с породой.

Фазовой называется проницаемость пород для данного газа или жидкости при наличии или движении в породах многофазных систем. Ее величина зависит не только от физических свойств пород, но также от степени насыщенности порового пространства жидкостями или газом и от их физико-химических свойств.

Относительной проницаемостью пористой среды называется отношение фазовой проницаемости этой среды для данной фазы к абсолютной.

Для оценки абсолютной проницаемости горных пород обычно используют линейный закон фильтрации Дарси, по которому скорость фильтрации жидкости в пористой среде пропорциональна градиенту давления и обратно пропорциональна динамической вязкости жидкости:

$$V = \frac{Q}{F} = K \frac{1}{\mu} \frac{\Delta P}{\Delta L},$$

где V – скорость линейной фильтрации;

Q – объемный расход жидкости в единицу времени;

F – площадь фильтрации пористой среды;

ΔP – перепад давления ($P_1 - P_2$);

ΔL – длина пористой среды.

В этом уравнении способность породы пропускать жидкости и газы характеризуется коэффициентом пропорциональности K , который называют коэффициентом проницаемости:

$$K = \frac{Q\mu\Delta L}{\Delta P F}.$$

При движении газа в пористой среде под Q подразумевается средний расход газа, так как по мере движения газа в пористой среде по направлению падения давления объем его непрерывно увеличивается.

Поэтому формулу определения K для газа можно представить в следующей дифференциальной форме:

$$K = - \frac{Q\mu}{F} \frac{dL}{dP}.$$

Знак минус в правой части, т.к. dP и dL имеют разные знаки. Принимая, что процесс расширения газа при линейном законе фильтрации происходит изотермически, т.е.

$$QP = Q^0 P^0 = \text{const},$$

где Q^0 – общий расход газа при атмосферном давлении P^0 , уравнение принимает вид:

$$K = - \frac{Q\mu P^0}{F} \frac{dP}{P dP}.$$

Разделяя переменные и интегрируя это уравнение в пределах от P_1 до P_2 , получим:

$$K = 2 \frac{Q\mu P^0}{F} \cdot \frac{L}{P_1^2 - P_2^2}.$$

Расчет проницаемости при фильтрации газа ведется по полученной формуле, которая справедлива тогда, когда движение газа в образце

происходит по закону линейной фильтрации.

Физический смысл размерности К (площадь, м²) заключается в том, что проницаемость характеризует площадь сечения каналов пористой среды, по которым в основном происходит фильтрация.

На практике часто пользуются единицей проницаемости – дарси (Д), которая в 10¹² раз меньше, чем проницаемость в 1 м², принятая в международной системе единиц (1 д – проницаемость такой пористой среды, при фильтрации через образец которой площадью 1 см² и длиной 1 см при перепаде давлений 1 кгс/см² расход жидкости вязкостью 1 спз составляет 1 см³/сек). Величина, равная 0,001 д, называется миллидарси. Учитывая, что

$$1 \text{ см}^3 = 10^{-6} \text{ м}^3; 1 \text{ кгс/см}^2 = 10^5 \text{ н/м}^2; 1 \text{ спз} = 10^{-3} \frac{\text{н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}; 1 \text{ см} = 10^{-2} \text{ м};$$

$$1 \text{ см}^2 = 10^{-4} \text{ м}^2, \text{ получим следующее соотношение:}$$

$$1Д = \frac{10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \cdot 10^5 \frac{\text{н}}{\text{м}^2} \cdot 10^{-3} \frac{\text{н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} \cdot 10^{-2} \text{ м}}{10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 10^{10} \frac{\text{н}^2}{\text{м}^4}} \approx 10^{-12} \text{ м}^2.$$

Пропускание газа через образец необходимо проводить не менее, чем при трех различных перепадах давления, причем продолжительность опыта выбирают в зависимости от проницаемости образца. При хорошей проницаемости достаточна выдержка в течение 2 – 5 мин после того как установится режим течения газа.

Величины коэффициентов проницаемостей, полученные в трех опытах, должны быть примерно одинаковыми, т. к. это указывает на то, что движение потока газа в образце происходило по линейному закону фильтрации.

Если какое-либо значение К резко отличается от остальных, то можно предположить, что допущена ошибка в вычислениях или неправильно записаны показания приборов, или режим движения газа в образце был отличный от линейного режима движения.

Для определения коэффициента абсолютной газопроницаемости на установке ГК-5 используют плотные, относительно крепкие керны, т. к. рыхлые

горные породы не могут быть закреплены в кернодержателе.

Сущность метода заключается в определении скорости движения газа через образец горной породы при стационарной фильтрации под действием перепада давлений. Скорость фильтрации определяется известным объемом газа, прошедшим через образец за определенный отрезок времени при постоянном перепаде давлений.

Подготовка образцов

1). Перед исследованием образцов горной породы содержащиеся в них органические вещества должны быть удалены путем экстрагирования. В качестве растворителей используют хлороформ и спиртобензольную смесь в соотношении 1:2.

2). Образцы высушивают в сушильном шкафу при температуре (105 ± 2) °С. Для суглинистых пород сушку проводят при температуре (70 ± 2) °С.

3). После сушки перед определением проницаемости образцы охлаждают в эксикаторах над прокаленным хлористым кальцием или высокодисперсным силикагелем.

4). Определяют размеры образцов штангенциркулем как среднее из 3–5 определений в каждом направлении с погрешностью до 0,1 мм. Расхождение между определениями не должно превышать 0,5 мм.

Проницаемость замерять обязательно в двух направлениях: перпендикулярно и параллельно, и для контроля можно замерить в трех направлениях.

Устройство установки

1). Принципиальная схема установки для определения газопроницаемости показана на Рис. 4.1.

2). При стационарной фильтрации источником давления служит баллон с газообразным азотом. (Газ очищают от паров воды и загрязняющей пыли с помощью фильтра и хлористого кальция).

3). Измерителем давления служат образцовые пружинные манометры.

4). Измерителем расхода газа служит газосчетчик барабанный (тип ГСБ-400 кл. I ГОСТ 6463-53).

5). В кернодержателе для линейной фильтрации боковая поверхность образца зачехляется в тонкостенную резиновую манжетку (велосипедная резиновая камера), прижимаемую к боковой поверхности образца под действием давления газа.

Оборудование и материалы

- 1) Секундомер однострелочный типа СОС-2Б-000 по ГОСТ 5072-79.
- 2) Манометр образцовый по ГОСТ 6521-72.
- 3) Штангенциркуль по ГОСТ 25336-82.

Указания по технике безопасности:

1. Перед началом работы в лаборатории необходимо внимательно ознакомиться с темой работы, уяснить цель работы, составить план её выполнения и лишь после этого приступить к анализу.

2. В лаборатории необходимо работать в халате. Верхнюю одежду следует оставлять в гардеробе или размещать в специально предназначенных для этого шкафах в лаборатории.

3. Методические пособия, рабочие тетради и лабораторные журналы, предназначенные для выполнения работы, следует оберегать от попадания на них воды, растворов кислот, щелочей и других химических реактивов. Лишние книги, журналы и тетради не должны находиться на рабочем столе.

4. Если реактив взят в избытке и полностью не израсходован категорически воспрещается выливать его в склянку с реактивом.

5. Реактивы, дистиллированную воду, газ и электричество следует расходовать экономно.

6. По окончании работы необходимо тщательно убрать рабочее место, выключить электронагревательные и другие электрические приборы, закрыть воду и газ, закрыть окна и форточки, выключить вытяжную вентиляцию и освещение в лаборатории.

7. Категорически запрещается проводить опыты, не относящиеся к данной работе, без ведома преподавателя.

8. При работе с химическими реактивами (особенно с растворами кислот и щелочей) необходимо соблюдать осторожность и аккуратность. Добавлять в пробирку с реакционной смесью именно те реактивы и в таких количествах, которые указаны в методических указаниях к выполнению лабораторной работы.

9. Отработанные химические реактивы следует сливать в специальную емкость для слива реактивов, находящуюся в лаборатории. Запрещается выливать продукты реакции и сами реактивы в канализацию.

10. Следует помнить, что многие химические реактивы ядовиты и могут вызвать отравление. Поэтому следует избегать попадания реактивов на открытые участки кожи и по окончании работы тщательно вымыть руки.

11. Все опыты, связанные с применением или образованием газообразных ядовитых веществ, а также паров вредных и дурнопахнущих соединений, разрешается проводить только в вытяжном шкафу (под тягой). В случае остановки работы вытяжной вентиляции опыты в вытяжных шкафах должны быть немедленно прекращены.

12. Нагревание растворов в пробирке следует проводить на водяной бане. При этом необходимо постоянно поддерживать достаточное количество воды в резервуаре бани во избежание пожаро- и взрывоопасной ситуации.

13. Бережно обращаться с машиной, не подвергать ее ударам, перегрузкам;

14. Включать и выключать оборудование сухими руками и только при помощи кнопок "пуск" и "стоп";

15. Снимать и устанавливать сменные части оборудования осторожно, без больших усилий и рывков.

Задания

1). Перед проведением анализа подать газ в систему установки. Для этого открыть кран редуктора газового баллона. Давление на манометре должно быть 0,6 – 0,7 МПа.

2). При линейном потоке образец кубической формы помещают в ре-

зиновую манжету кернодержателя таким образом, чтобы зазор между боковой поверхностью образца и стенками манжеты был минимальным.

3). Поставить кернодержатель с керном на подставку через резиновую прокладку, сверху закрыть крышкой. Уплотнить с помощью зажима.

4). Закрыть кран № 1 (кран сброса газа).

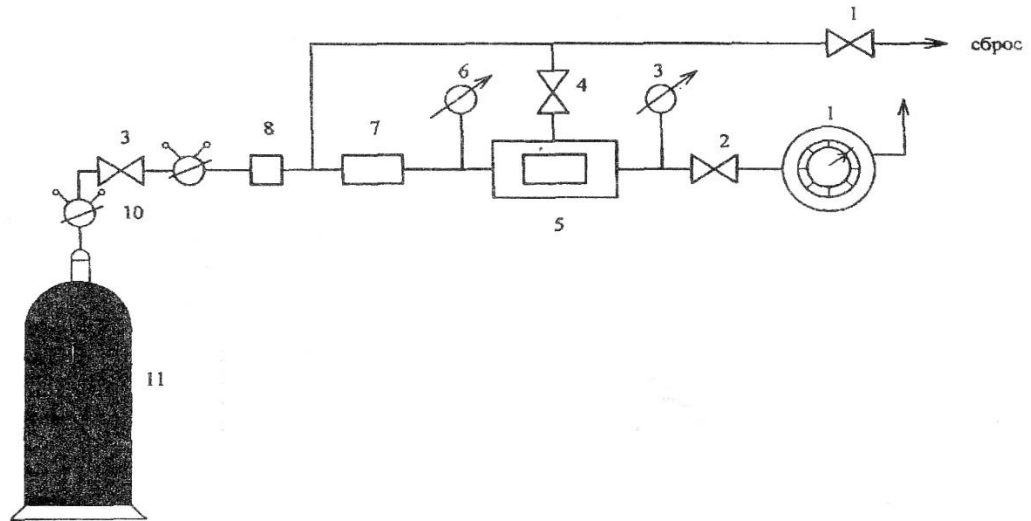


Рис. 4.1. Схема установки для определения газопроницаемости 1 – газовые часы; 2 – кран сброса газа; 3 – манометр за образцом; 4 – кран обжима керна; 5 – кернодержатель; 6 – манометр перед образцом 7 – хлоркальцевая трубка 8 – фильтр 9 – кран подачи газа внутрь керна, 10 – редуктор давления; 11 – источник давления.

5). Создать давление бокового обжима, обеспечивающего отсутствие проскальзывания газа между образцом и манжетой (открыть кран 2).

6). Установить рабочий перепад давления, открывая кран 3, контролируя его с помощью манометра. Газ проходит через образец. Выполнить трехкратное измерение расхода газа через образец при различных перепадах давления, включая одновременно секундомер.

Расход газа определяем по газосчетчику, первоначальное положение стрелки считать за нуль. Выбираем режим таким образом, чтобы время прохождения газа через образец было не меньше 50 с. В экстренных случаях разрешается брать минимальное время до 30 сек.

7). После проведения измерений закрыть краны 2,3, открыть кран 1.

Нельзя открывать крышку кернодержателя, если из манжеты обжима не выпущен в атмосферу газ.

8). После окончания работ закрыть вентиль азотного баллона.

Измерительные приборы:

- 1). Секундомер однострелочный типа СОС-2Б-000 по ГОСТ 5072-79.
- 2). Манометр образцовый по ГОСТ 6521-72.
- 3). Штангенциркуль по ГОСТ 25336-82.

Обработка результатов:

Результаты обмера образцов, перепады давлений, расход газа, вязкость газа при температуре проведения опыта, барометрическое давление записывают в рабочий журнал.

Коэффициент проницаемости для стационарной фильтрации при линейном потоке газа вычисляют по формуле:

$$K_r = \frac{2 \cdot 10^3 \mu L P_2 \cdot V_2}{F \cdot t (P_1 + P_2)(P_1 - P_2)},$$

где K_r – коэффициент газопроницаемости, измеренный при заданном среднем давлении в образце, 10^{-3} мкм² (миллидарси);

μ – вязкость газа при условиях фильтрации, численные значения в зависимости от температуры;

P_2 – барометрическое давление, 0,1 МПа;

V_2 – объем газа, прошедший через образец (при атмосферных условиях), см³;

T – время фильтрации, с;

P_1 – перепад давления на образце между входом и выходом, 0,1 МПа;

L – длина образца, см;

F – площадь поперечного сечения образца, см².

Содержание отчета

После выполнения работы должен быть составлен отчет, содержащий:

- цель работы;
- описание устройства для описания газопроницаемости;
- абсолютная, фазовая и относительная проницаемость;
- обработки результатов анализа.

Отчет представляется в письменном виде в отдельной тетради.

Контрольные вопросы и тестовые задания

1. Проницаемость, виды проницаемости.
2. Единицы проницаемости.
3. Последовательность определения коэффициента проницаемости

Практическое занятие 5

Определение абсолютной газопроницаемости пород-коллекторов

Цель: изучить принцип действия аппарата ГНФ-1; определить проницаемости пород на аппарате ГНФ-1

Теоретическая часть

Аппарат предназначен для измерения абсолютной проницаемости пород-коллекторов при нестационарной фильтрации воздуха и среднем давлении в образце, близком к атмосферному. Конструкция кернодержателя обеспечивает выполнение измерений при фильтрации воздуха через кубические и цилиндрические образцы и плоскорадиальном течении через цилиндрические образцы. Кубические образцы позволяют определять проницаемость в трех направлениях.

Фильтрация воздуха через образцы осуществляется при переменном перепаде давления, приближенном к атмосферному. Величина проницаемости определяется продолжительностью изменения давления в заданных пределах, которые зависят от размеров образца, начального и конечного перепада давления.

Аппарат схематично изображен на рисунке 5.1. Основными узлами аппарата являются: кернодержатель и пьезометр.

Устройство и работа прибора ГНФ-1

1) Принципиальная схема измерения при линейной фильтрации показана на рисунке 5.2. Пространство над верхним торцом образца через отверстие в крышке сообщается с атмосферой, следовательно, с одной стороны образца действует атмосферное давление.

Пространство под нижним торцом образца присоединено к полости пьезометрической трубки и через вентиль в основании кернодержателя может быть сообщено с источником разряжения. Давление в этой полости и есть давление после образца.

При создании в полости пьезометра разряжения (потянуть ртом воздух через трубку, соединенную с кернодержателем) начинается процесс

фильтрации воздуха через образец и уровень воды в трубке поднимается. После того, как уровень поднялся до верхнего репера, вентиль закрывают. Движущийся через образец воздух поступает в полость трубки, давление после образца повышается и уровень в трубке понижается.

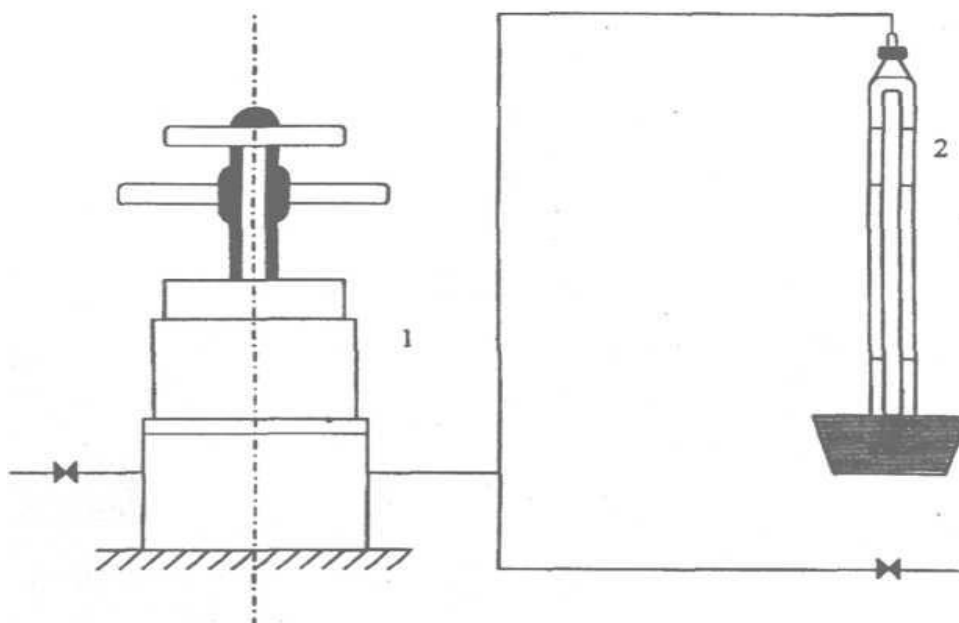


Рис. 5.1. Принципиальная схема аппарата ГНФ-1: 1 – кернодержатель; 2 – пьезометр

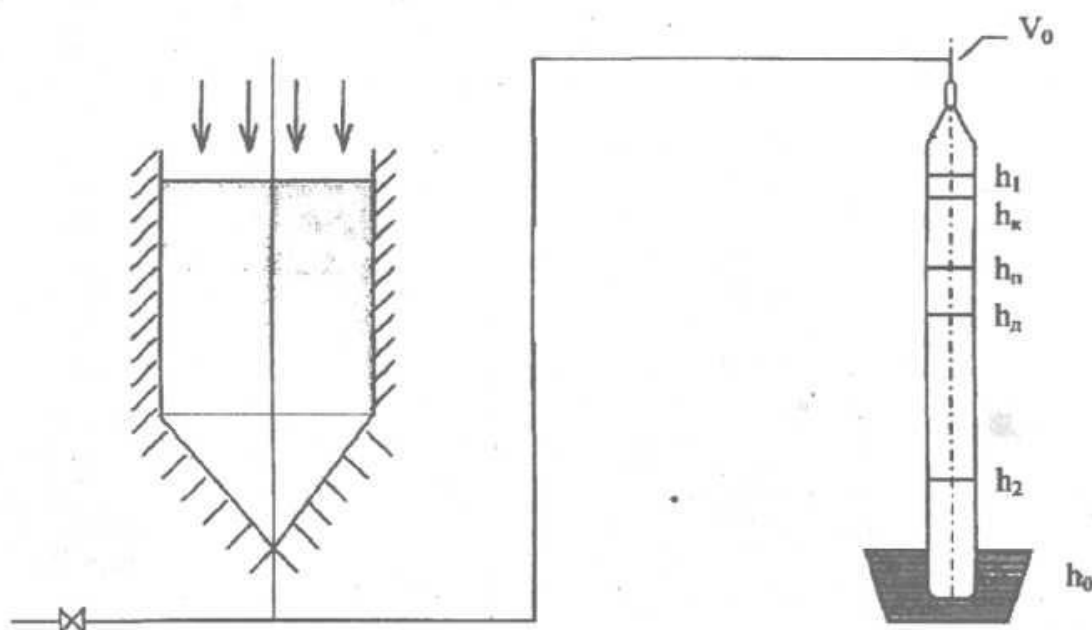


Рис. 5.2. Принципиальная схема измерения при линейной фильтрации

2). Пьезометр представляет собой градуированную трубку, погруженную нижним концом под уровень воды, окрашенной метилоранжем. Диаметр трубки 2,5 мм. На трубке нанесены реперные отметки, расстояния между ними являются исходными для расчета коэффициентов пьезометра. Трубка имеет пять основных реперов: верхний h_1 – нулевой репер, h_k – 1 см, h_n – 4 см, h_d – 11 см, h_2 – 50 см. Трубка погружена нижним концом в сосуд с водой (диаметр сосуда 20 см); уровень воды должен совпадать с уровнем нулевого нижнего репера.

Измерение производится при изменении уровня в пределах от h_1 до h_n или от h_1 – h_d , h_1 – h_2 , измерение разбито на четыре поддиапазона.

3). Кернодержатель для образцов кубической формы.

Образец кубической формы закладывается в резиновую муфту и помещается в металлический стакан. Последний устанавливается на основание через резиновую прокладку и сверху закрывается крышкой. Стакан с образцом уплотняется с помощью трубцинного зажима.

Оборудование и материалы 1. Аппарат ГНФ-1

2. Секундомер однострелочный типа СОС-2Б-000 по ГОСТ 5072-79

3. Штангенциркуль по ГОСТ 25336-82

Указания по технике безопасности:

1. Перед началом работы в лаборатории необходимо внимательно ознакомиться с темой работы, уяснить цель работы, составить план её выполнения и лишь после этого приступить к анализу.

2. В лаборатории необходимо работать в халате. Верхнюю одежду следует оставлять в гардеробе или размещать в специально предназначенных для этого шкафах в лаборатории.

3. Методические пособия, рабочие тетради и лабораторные журналы, предназначенные для выполнения работы, следует оберегать от попадания на них воды, растворов кислот, щелочей и других химических реактивов. Лишние книги, журналы и тетради не должны находиться на рабочем столе.

4. Если реактив взят в избытке и полностью не израсходован категорически воспрещается выливать его в склянку с реактивом.

5. Реактивы, дистиллированную воду, газ и электричество следует расходовать экономно.

6. По окончании работы необходимо тщательно убрать рабочее место, выключить электронагревательные и другие электрические приборы, закрыть воду и газ, закрыть окна и форточки, выключить вытяжную вентиляцию и освещение в лаборатории.

7. Категорически запрещается проводить опыты, не относящиеся к данной работе, без ведома преподавателя.

8. При работе с химическими реактивами (особенно с растворами кислот и щелочей) необходимо соблюдать осторожность и аккуратность. Добавлять в пробирку с реакционной смесью именно те реактивы и в таких количествах, которые указаны в методических указаниях к выполнению лабораторной работы.

9. Отработанные химические реактивы следует сливать в специальную емкость для слива реактивов, находящуюся в лаборатории. Запрещается выливать продукты реакции и сами реактивы в канализацию.

10. Следует помнить, что многие химические реактивы ядовиты и могут вызвать отравление. Поэтому следует избегать попадания реактивов на открытые участки кожи и по окончании работы тщательно вымыть руки.

11. Все опыты, связанные с применением или образованием газообразных ядовитых веществ, а также паров вредных и дурнопахнущих соединений, разрешается проводить только в вытяжном шкафу (под тягой). В случае остановки работы вытяжной вентиляции опыты в вытяжных шкафах должны быть немедленно прекращены.

12. Нагревание растворов в пробирке следует проводить на водяной бане. При этом необходимо постоянно поддерживать достаточное количество воды в резервуаре бани во избежание пожаро- и взрывоопасной ситуации.

13. Бережно обращаться с машиной, не подвергать ее ударам, перегрузкам;

14. Включать и выключать оборудование сухими руками и только при помощи кнопок "пуск" и "стоп";

15. Снимать и устанавливать сменные части оборудования осторожно, без больших усилий и рывков.

Задания

1). Проверить прибор на герметичность следующим образом: вставить в отверстие резиновой муфты кернодержателя металлический куб. Создать разряжение по пьезометру, оно должно сохраняться в течение 30 мин.

2). Перед началом работы проверить уровень воды в сосуде, он должен совпадать с уровнем нулевого нижнего репера.

3). Образцы кубической формы высушивают в сушильном шкафу при температуре $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$ не менее 24 час. Для сильно глинистых пород сушку проводят при температуре $(70 + 2) ^\circ\text{C}$.

4). Перед работой образцы вынимают из сушильного шкафа щипцами и помещают в эксикатор с хлористым кальцием для охлаждения. Охлаждается образец 30 - 40 мин.

5). Определяют размеры образцов штангенциркулем как среднее из 3 – 5 определений в каждом направлении с погрешностью до 0,1 мм. Расхождение между определениями не должно превышать 0,5 мм.

5.5 Порядок определения проницаемости

1). Перед определением проницаемости необходимо убедиться в отсутствии сколов и трещин и измерить штангенциркулем с точностью отсчета 0,1 мм размеры образца. Проницаемость замерять обязательно в двух направлениях: перпендикулярно и параллельно и для контроля можно замерять в третьем направлении.

2). После замеров образец вставляют в резиновую муфту и помещают в металлический стакан. Затем устанавливают на основание через резиновую прокладку и сверху закрывают крышкой. Стакан с образцом уплотняется с

помощью зажима. Каждый раз уплотнять стакан с образцом до упора зажима.

3). Открыть вентиль кернодержателя. Создать в полости пьезометра разрежение с помощью резиновой трубки (потянуть ртом воздух через трубку). Поднять уровень жидкости в трубке пьезометра приблизительно на 1-3 см выше отметки h_1 .

4). Вентиль быстро закрывают. Включают секундомер в момент прохождения уровня воды через верхнюю отметку репера h_1 . Измеряют время прохождения уровня воды от отметки h_1 до любой выбранной промежуточной или конечной отметки h . Выбирают репер таким образом, чтобы время прохождения не превышало 500 ± 1 с или не было меньше 50 ± 1 с. В экстренных случаях разрешается брать минимальное время до 30 ± 1 с. Ориентировочные пределы измерения проницаемости при таком интервале времени составляют от $(0,15 \text{ до } 1500) \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$, а при 30 с – до $2000 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$. Если уровень воды проходит от отметки h_1 до h_2 за 20 мин или совсем не пройдет, то проницаемость считать $< 0,01 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$

5). Измерение проводят трижды, не меняя установки образца в кернодержателе. Конечным результатом является среднеарифметическое значение из 3-х измерений при отсутствии случайных ошибок.

Обработка результатов

1). Размеры образца, температура воздуха, время, отмеченное по секундомеру, записываются в журнал по определению проницаемости.

2). Затем записывается значение коэффициента «С» в зависимости от температуры воздуха и репера пьезометра. Таблица значений коэффициента «С» в зависимости от температуры прилагается.

3). Коэффициент газопроницаемости рассчитывают по формуле:

$$K = \frac{C \cdot I}{S \cdot T},$$

где K – коэффициент проницаемости, 10^{-3} мкм^2 ; C – коэффициент, зависящий от геометрических размеров прибора; I – высота ребра кубического образца, см; S – площадь верхней поверхности куба; T – время

прохождения уровня воды между отметками реперов $h_1 - h_k$, $h_1 - h_2$ и т. д.

Содержание отчета

После выполнения работы должен быть составлен отчет, содержащий:

- цель работы;
- описание устройства для описания газопроницаемости;
- абсолютная, фазовая и относительная проницаемость;
- обработки результатов анализа.

Отчет представляется в письменном виде в отдельной тетради.

Контрольные вопросы и тестовые задания:

1. Проницаемость, виды проницаемости.
2. Единицы измерения проницаемости.
3. Последовательность определения коэффициента проницаемости.

Практическое занятие 6

Определение остаточной водонасыщенности образцов пород методом центрифугирования

Цель ознакомление с работой центрифуги, методика определения остаточной водонасыщенности

Теоретическая часть

В продуктивных пластах нефтяной и газовой частей залежи содержится вода. Эту воду, оставшуюся со времени образования залежи, называют остаточной. Состояние остаточной воды и начальное распределение нефти, воды, газа определяется:

- структурой порового пространства
- составом пород
- физико-химическими свойствами пород
- физико-химическими свойствами жидкостей и газов
- количеством и составом остаточных вод и др.

Формы существования остаточной воды необходимо учитывать во всех процессах, в которых молекулярная природа поверхности твердой фазы играет значительную роль. Если остаточная вода в пласте в виде тонкой пленки покрывает поверхность поровых каналов, то поверхность твердой фазы остается гидрофильной. Устойчивые пленки на поверхности твердого тела возникают только при очень низком поверхностном натяжении на границе нефть-вода, при слабой минерализации остаточной воды. Если пленка воды отсутствует, то нефть соприкасается с твердой поверхностью и вследствие адсорбции ПАВ нефти поверхность коллектора становится в значительной степени гидрофильной. Фильность пород существенным образом определяет особенности фильтрационных процессов в пористых средах.

Формы остаточной воды:

- капиллярно связанная вода в малых капиллярах, где интенсивно проявляются капиллярные силы;

- адсорбционная вода, удерживаемая силами межмолекулярного взаимодействия между водой и поверхностью поровых каналов;
- пленочная вода, покрывающая гидрофильные участки породы;
- свободная вода, удерживаемая капиллярными силами в дисперсной структуре на поверхностях раздела нефть-вода, газ-вода.

При анализе кернового материала определяется общее количество остаточной воды без количественной оценки различных ее видов. Это связано с неопределенностью и сложностью условий ее определения по видам.

Количественно оценить содержание остаточной воды в керне можно с помощью коэффициента водонасыщенности – отношения объема воды в открытых порах образца к объему открытых пор:

$$S_v = V_v / V_{o.por.}$$

Наиболее достоверные результаты определения количества остаточной воды в породе получены при анализе кернового материала, отобранного с применением растворов, приготовленных на нефтяной основе. Предполагается, что при подъеме керна на поверхность и в процессе его транспортирования в лабораторию существенных изменений его водонасыщенности не происходит. Для этого керны предварительно парафинируют или перевозят в закрытых сосудах под слоем нефти.

Быстро и просто остаточная водонасыщенность определяется методом центрифугирования. В основе метода лежит воздействие на образец центробежных сил, возникающих при вращении керна в центрифуге.

Давление, развиваемое в капиллярах центробежными силами $p_{ц}$, равно:

$$p_{ц} = 4 \pi^2 R n^2 h (\rho_1 - \rho_2),$$

где R- радиус вращения (принимается равным расстоянию от центра оси центрифуги до середины образца);

n – число оборотов ротора центрифуги;

h – длина образца;

ρ_1 , ρ_2 - плотность воды, насыщающей образец, и плотность вытесняющей фазы (при вытеснении воздухом можно принять $\rho_2=0$).

Вытеснению воды препятствуют капиллярные силы p_k :

$$p_k = \frac{2\sigma \cos \theta}{r},$$

где σ - поверхностное натяжение воды на границе с вытесняющей фазой,

θ - краевой угол смачивания,

r -радиус пор.

При этом вода вытесняется из всех пор образца, радиус которых больше радиуса r , определяемого из соотношения:

$$p_{ц} = p_k$$

Вначале с увеличением числа оборотов ротора центрифуги вода вытесняется из крупных пор. При дальнейшем увеличении частоты вращения ротора вода вытесняется из пор меньшего размера. С некоторого момента повышение числа оборотов перестает влиять на количество воды остающейся в порах. Эту воду и считают остаточной.

Результаты центрифугирования позволяют изучить распределение в керне пор по размерам. Так радиус пор, из которых при данной угловой скорости ω вытесняется вода, определяется из соотношения:

$$r = \frac{\sigma \cos \theta}{2\pi^2 n^2 r^2}.$$

Описание установки

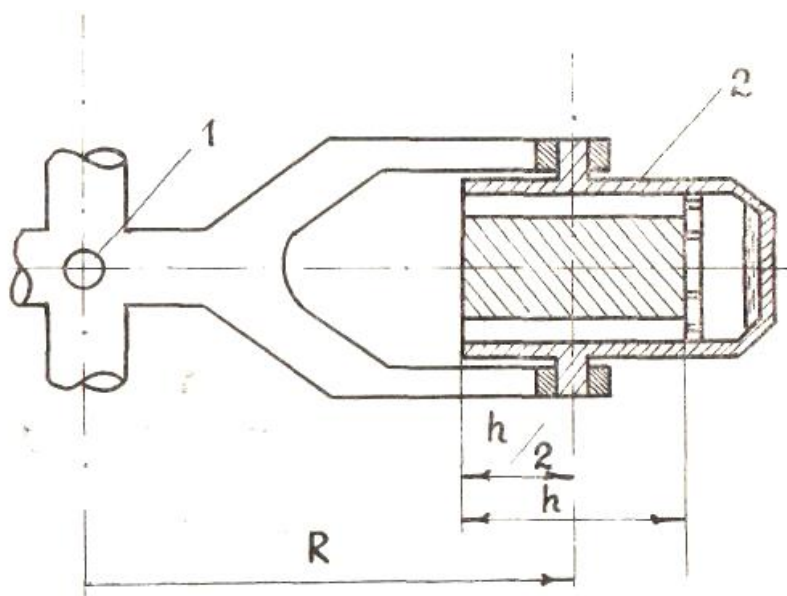


Рис. 6.1. Схема установки для определения остаточной водонасыщенности.

Центрифуга помещена в термостат и состоит из:

- 1 – хвостовик вала электродвигателя;
- 2 – вращающаяся головка с откидными стаканами, в которые вставляется пробирка с керном.

На передней стенке центрифуги имеется панель приборов, на которой установлены:

- главный выключатель;
- регулятор числа оборотов. **ВНИМАНИЕ!** Установку разрешено запускать с закрытой крышкой только при нулевом положении регулятора;
- тормозная кнопка, при нажатии которой, включается тормозное устройство, позволяющее уменьшить время остановки центрифуги;
- тахометр, фиксирующий число оборотов центрифуги;
- сигнальная лампа, загорающаяся при включении двигателя;
- счетчик времени, служащий для автоматической остановки центрифуги через заданное время.

Оборудование и материалы

установка для определения остаточной водонасыщенности.

Указания по технике безопасности: 1. Перед началом работы в лаборатории необходимо внимательно ознакомиться с темой работы, уяснить цель работы, составить план её выполнения и лишь после этого приступить к анализу.

2. В лаборатории необходимо работать в халате. Верхнюю одежду следует оставлять в гардеробе или размещать в специально предназначенных для этого шкафах в лаборатории.

3. Методические пособия, рабочие тетради и лабораторные журналы, предназначенные для выполнения работы, следует оберегать от попадания на них воды, растворов кислот, щелочей и других химических реактивов. Лишние книги, журналы и тетради не должны находиться на рабочем столе.

4. Если реактив взят в избытке и полностью не израсходован категорически воспрещается выливать его в склянку с реактивом.

5. Реактивы, дистиллированную воду, газ и электричество следует расходовать экономно.

6. По окончании работы необходимо тщательно убрать рабочее место, выключить электронагревательные и другие электрические приборы, закрыть воду и газ, закрыть окна и форточки, выключить вытяжную вентиляцию и освещение в лаборатории.

7. Категорически запрещается проводить опыты, не относящиеся к данной работе, без ведома преподавателя.

8. При работе с химическими реактивами (особенно с растворами кислот и щелочей) необходимо соблюдать осторожность и аккуратность. Добавлять в пробирку с реакционной смесью именно те реактивы и в таких количествах, которые указаны в методических указаниях к выполнению лабораторной работы.

9. Отработанные химические реактивы следует сливать в специальную емкость для слива реактивов, находящуюся в лаборатории. Запрещается выливать продукты реакции и сами реактивы в канализацию.

10. Следует помнить, что многие химические реактивы ядовиты и могут вызвать отравление. Поэтому следует избегать попадания реактивов на открытые участки кожи и по окончании работы тщательно вымыть руки.

11. Все опыты, связанные с применением или образованием газообразных ядовитых веществ, а также паров вредных и дурнопахнущих соединений, разрешается проводить только в вытяжном шкафу (под тягой). В случае остановки работы вытяжной вентиляции опыты в вытяжных шкафах должны быть немедленно прекращены.

12. Нагревание растворов в пробирке следует проводить на водяной бане. При этом необходимо постоянно поддерживать достаточное количество воды в резервуаре бани во избежание пожаро- и взрывоопасной ситуации.

13. Бережно обращаться с машиной, не подвергать ее ударам, перегрузкам;

14. Включать и выключать оборудование сухими руками и только при помощи кнопок "пуск" и "стоп";

15. Снимать и устанавливать сменные части оборудования осторожно, без больших усилий и рывков.

ВНИМАНИЕ!!! При работе на центрифуге следует использовать только специальные центрифужные (конические) пробирки

- закрыть центрифугу крышкой, установить необходимую скорость центрифугирования и включить центрифугу переключателем «Сеть»;

- после окончания центрифугирования выключить центрифугу, дождаться её полной остановки и лишь после этого открыть крышку;

ВНИМАНИЕ!!! Запрещается включать центрифугу с открытой крышкой и останавливать центрифугу рукой или каким-либо предметом

- вынуть пробирки с отделенными осадками из центрифуги.

- центрифуга должна быть установлена на горизонтальной плоскости, надёжно закреплена и заземлена. В случае ненормальной работы центрифуги (удары, вибрация, посторонний шум и т.д.) её необходимо остановить и сообщить преподавателю или лаборанту. Запрещается работать на неисправной центрифуге.

- работу с малыми количествами горючих и легковоспламеняющихся веществ (спирты, углеводороды, эфиры, кетоны и т.д.) следует проводить только вдали от огня и электронагревательных приборов (плиток, муфель, сушильных шкафов).

- запрещается проводить опыты со всевозможными взрыво- и огнеопасными смесями.

- после окончания работы следует убрать с рабочего места в специальный металлический ящик или шкаф остатки легковоспламеняющихся и горючих жидкостей.

Задания

1. Взвесить сухой керн (M_1).

2. Насытить керн под вакуумом дистиллированной водой.

3. Взвесить насыщенный керн (M_2).
4. Вложить керн в пробирку.
5. Пробирку с керном поместить в один из стаканов ротора.
6. Поместить уравнивающий груз в противоположный стакан (разница в весе груза и исследуемого керна не должна превышать 0,1 г).
7. Закрыть крышку центрифуги.
8. Установить счетчик времени на 2 минуты.
9. Включить главный выключатель.
10. Довести число оборотов ротора до 500 в минуту.
11. Тормозной кнопкой включить тормозное устройство после автоматического отключения ротора.
12. Установить регулятор оборотов в нулевое положение.
13. ВНИМАНИЕ. Дождаться полной остановки ротора.
14. Открыть крышку центрифуги.
15. Извлечь пробирку с керном.
16. Взвесить керн M_{ki} .
17. Повторить действия пунктов №№ 4-15 каждый раз увеличивая число оборотов на 500 до максимального значения 3500 оборотов в минуту.
18. Все измеренные величины приводятся к единой системе единиц СИ и заносятся в таблицу 6.1.

Таблица 6.1.

Таблица для результатов исследования

Число оборотов ротора n	Масса керна с водой M_{ki}	Масса воды, оставшейся в керне M_{vi}	Коэффициент водонасыщенности S_i	Капиллярное давление P_{ki}	Примечание
500					
1000					
1500					
2000					

Обработка полученных результатов

1. Масса воды, содержащаяся в керне до начала центрифугирования:

$$M_v = M_2 - M_1,$$

где M_1 , M_2 - масса сухого керна и масса керна после насыщения водой.

2. Масса воды оставшейся в керне после центрифугирования при каждом заданном числе оборотов:

$$M_{\text{вi}} = M_{\text{кi}} - M_1.$$

3. Принимаем коэффициент начальной водонасыщенности (перед началом центрифугирования) равным единице.

4. Коэффициент водонасыщенности керна после центрифугирования на каждом из заданных чисел оборотов:

$$S_i = M_{\text{вi}} / M_{\text{в}}.$$

5. Капиллярное давление:

$$p_{\text{к}} = p_{\text{ц}} = 4 \pi^2 R n^2 h (\rho_1 - \rho_2).$$

6. Построить графическую зависимость «капиллярное давление-коэффициент водонасыщенности».

7. По графику определить коэффициент остаточной водонасыщенности $S_{\text{ост.}}$.

Содержание отчета После выполнения работы должен быть составлен отчет, содержащий:

- цель работы;
- описание процесса работы, результаты работы;
- выводы;

Отчет представляется в письменном виде в отдельной тетради.

Контрольные вопросы и тестовые задания:

1. Принцип работы центрифуги
2. Определение «Остаточная водонасыщенность».

Практическое занятие 7

Определение коэффициентов водо- и нефтенасыщенности образцов породы

Цель ознакомиться с принципом работы прибора Закса, изучить метод определения коэффициентов водо- и нефтенасыщенности образцов породы.

Теоретическая часть

Содержание флюидов в породе называется насыщенностью. Количественно содержание в породе нефти, воды и газа оценивается коэффициентами нефте-, водо-, газонасыщенности. Это есть доля от объема открытых пор $V_{\text{пор}}$ в образце, занятых нефтью $V_{\text{н}}$, водой $V_{\text{в}}$, газом $V_{\text{г}}$:

коэффициент нефтенасыщенности:

$$S_{\text{н}} = V_{\text{н}} / V_{\text{пор}}.$$

коэффициент водонасыщенности:

$$S_{\text{в}} = V_{\text{в}} / V_{\text{пор}}.$$

коэффициент газонасыщенности:

$$S_{\text{г}} = V_{\text{г}} / V_{\text{пор}}.$$

Описание установки

Прибор Закса помещается в вытяжной шкаф и включает в себя

1 – обратный холодильник, нижний отвод которого подсоединяется к водопроводу, верхний – к канализации

2– стеклянная ловушка, со шкалой, откалиброванной в единицах объема

3- стеклянный цилиндр с пористым дном (фильтром), помещенный в горловину колбы 4 на специальные выступы

4 - колба емкостью 500 см³

5 – керн

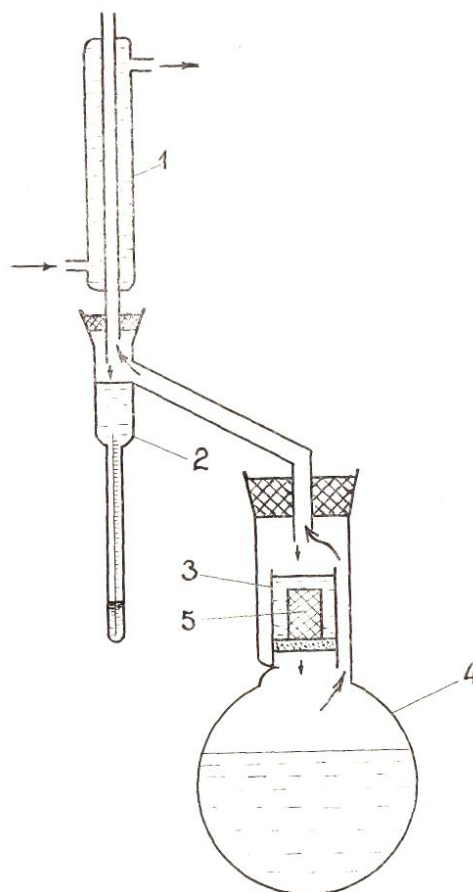


Рис. 7.1. Прибор Закса

Принцип работы установки

Прибор С.Л. Закса позволяет одновременно проводить выпаривание воды из образца и его экстрагирование.

В процессе нагревания колбы 4 до температуры 100°C и выше пары воды, содержащейся в порах образца, вместе с парами растворителя поднимаются в холодильник 1, в котором они конденсируются. Конденсат воды и растворителя стекает в ловушку 2. По мере проведения опыта уровень в ловушке поднимается, а затем останавливается. Вода в результате гравитационного разделения скапливается в нижней части ловушки, а растворитель – в верхней. Момент, когда растворитель в ловушке становится совершенно прозрачным и уровень воды перестает изменяться, является признаком того, что процесс выделения воды из образца закончен.

Наличие четкой границы раздела между водой и растворителем в ловушке позволяет определить численное значение объема выделившейся воды из образца $V_{\text{в}}$. В качестве растворителя можно использовать толуол

C_7H_8 ($t_{\text{кип}}=111^\circ\text{C}$), бензин прямой перегонки, из которого отогнаны легкие фракции, кипящие до 95°C . В любом случае растворитель подбирается таким образом, чтобы температура его кипения была выше температуры кипения воды. Помимо этого, растворитель и вода должны быть взаимно нерастворимыми и иметь четкую границу раздела в ловушке.

При подогреве колбы 4 пары кипящего растворителя поднимаются по трубке вверх в холодильник 1, в котором они конденсируются. Конденсат растворителя, стекает в ловушку, а оттуда в стеклянный цилиндр 3 (выполняющий функции экстрактора) растворяет нефть, содержащуюся в образце 5. Интенсивность нагрева подбирается так, чтобы образец был все время полностью погружен в растворитель и последний не переливался через края цилиндра. Таким образом происходит экстрагирование керна.

По мере проведения экстрагирования уровень сконденсированного растворителя становится достаточным, чтобы покрыть весь образец, а нефть вымытая из образца постепенно стекает через пористое дно в колбу 4. Процесс экстрагирования образца считается законченным, когда растворитель в стеклянном цилиндре становится совершенно прозрачным.

Оборудование и материалы

- устройства для насыщения образцов;
- исследуемые образцы породы.

Указания по технике безопасности: 1. Перед началом работы в лаборатории необходимо внимательно ознакомиться с темой работы, уяснить цель работы, составить план её выполнения и лишь после этого приступить к анализу.

2. В лаборатории необходимо работать в халате. Верхнюю одежду следует оставлять в гардеробе или размещать в специально предназначенных для этого шкафах в лаборатории.

3. Методические пособия, рабочие тетради и лабораторные журналы, предназначенные для выполнения работы, следует оберегать от попадания на

них воды, растворов кислот, щелочей и других химических реактивов. Лишние книги, журналы и тетради не должны находиться на рабочем столе.

4. Если реактив взят в избытке и полностью не израсходован категорически воспрещается выливать его в склянку с реактивом.

5. Реактивы, дистиллированную воду, газ и электричество следует расходовать экономно.

6. По окончании работы необходимо тщательно убрать рабочее место, выключить электронагревательные и другие электрические приборы, закрыть воду и газ, закрыть окна и форточки, выключить вытяжную вентиляцию и освещение в лаборатории.

7. Категорически запрещается проводить опыты, не относящиеся к данной работе, без ведома преподавателя.

8. При работе с химическими реактивами (особенно с растворами кислот и щелочей) необходимо соблюдать осторожность и аккуратность. Добавлять в пробирку с реакционной смесью именно те реактивы и в таких количествах, которые указаны в методических указаниях к выполнению лабораторной работы.

9. Отработанные химические реактивы следует сливать в специальную емкость для слива реактивов, находящуюся в лаборатории. Запрещается выливать продукты реакции и сами реактивы в канализацию.

10. Следует помнить, что многие химические реактивы ядовиты и могут вызвать отравление. Поэтому следует избегать попадания реактивов на открытые участки кожи и по окончании работы тщательно вымыть руки.

11. Все опыты, связанные с применением или образованием газообразных ядовитых веществ, а также паров вредных и дурнопахнущих соединений, разрешается проводить только в вытяжном шкафу (под тягой). В случае остановки работы вытяжной вентиляции опыты в вытяжных шкафах должны быть немедленно прекращены.

12. Нагревание растворов в пробирке следует проводить на водяной бане. При этом необходимо постоянно поддерживать достаточное количество воды в резервуаре бани во избежание пожаро- и взрывоопасной ситуации.

13. Бережно обращаться с машиной, не подвергать ее ударам, перегрузкам;

14. Включать и выключать оборудование сухими руками и только при помощи кнопок "пуск" и "стоп";

15. Снимать и устанавливать сменные части оборудования осторожно, без больших усилий и рывков.

Задания

1. Высушить стеклянный цилиндр 3 при температуре 102-105°C.
2. Взвесить стеклянный цилиндр.
3. Очистить образец кисточкой.
4. Взвесить образец.
5. Поместить образец 5 в цилиндр 3.
6. Заполнить колбу 4 растворителем (примерно 500 см³).
7. Установить цилиндр с керном в горловину колбы 4.
8. Собрать прибор.
9. Пустить воду в холодильник 1.
10. Включить вытяжной шкаф.
11. Включить печку. Интенсивность нагрева выбирается таким образом, чтобы образец был все время полностью погружен в растворитель, и последний не переливался через края цилиндра.
12. Убедившись, что увеличение объема воды в ловушке прекратилось и растворитель в ловушке 2 стал совершенно прозрачным, выключить прибор.
13. По шкале ловушки определить объем выделившейся воды из образца
14. Дать прибору остыть.
15. Разобрать прибор.

16. Извлечь образец. Образец поместить в сушильный шкаф при температуре 102-105°C.

17. Контролировать удаление растворителя из пор образца периодическим взвешиванием.

18. После того, как масса образца перестанет меняться, зафиксировать ее значение.

19. Все измеренные величины приводятся к единой системе единиц СИ и за-носятся в таблицу 7.1.

Таблица 7.1.

Таблица для результатов исследования

Наименование величины	Обозначение	Результат
Масса образца до опыта	M_1	
Масса образца после опыта	M_2	
Объем воды в ловушке	V_v	
Плотность воды	ρ_v	
Плотность нефти	ρ_n	
Коэффициент открытой пористости	m_o	
Плотность образца	ρ	
Коэффициент нефтенасыщенности	S_n	
Коэффициент водонасыщенности	S_v	

Обработка полученных результатов

1. Масса жидкости (нефти и воды), содержащаяся в керне до опыта:

$$M_{ж} = M_1 - M_2.$$

2. Масса воды, содержащаяся в порах образца до опыта и скопившаяся в ловушке после окончания опыта:

$$M_v = V_v \rho_v.$$

3. Масса нефти, содержащейся в керне до опыта:

$$M_n = M_{ж} - M_v.$$

4. Объем нефти, содержащейся в керне до опыта:

$$V_n = M_n / \rho_n.$$

5. Коэффициент нефтенасыщенности:

$$S_n = \dots$$

6. Коэффициент водонасыщенности:

$$S_v = \dots$$

7. Коэффициент газонасыщенности студентам предлагается вычислить самостоятельно.

Содержание отчета

После выполнения работы должен быть составлен отчет, содержащий:

- цель работы;
- описание устройства ;
- порядок проведения работы;
- порядок обработки результатов.

Отчет представляется в письменном виде в отдельной тетради.

Контрольные вопросы и тестовые задания

1. Какими параметрами оценивается количественно содержания в породе нефти, воды и газа?
2. Принцип работы прибора Закса.

Практическое занятие 8

Определение карбонатности терригенных пород

Цель Определение карбонатности терригенных пород, изучение работы прибора Кларка

Теоретическая часть

Под карбонатностью горных пород подразумевается суммарное содержание в них солей угольной кислоты: Na_2CO_3 , K_2CO_3 , CaCO_3 , CaCO_3^* , MgCO_3 , FeCO_3 и т. д.

Определение карбонатности горных пород основано на химическом разложении в них карбонатов и на учете углекислого газа, выделяющегося при их разложении. В лабораторных исследованиях используется прибор Кларка из комплекта оборудования для исследования проницаемости кернов УИПК1-М (Рис.8.1).

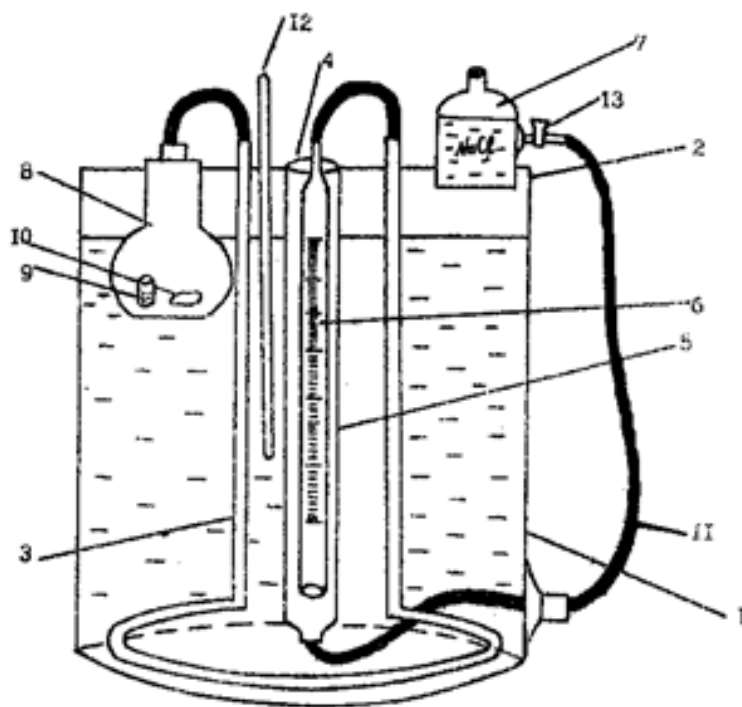


Рис. 8.1. Прибор Кларка для определения объема углекислого газа

Образец породы тщательно растирается в ступке. Из полученного порошка, высушенного при 105–107 °С до постоянного веса, берется навеска массой 0,5 – 5 г в зависимости от предполагаемого содержания карбонатов в породе, которая помещается в реакционную колбу. Туда же помещается фарфоровый тигелек с 5 – 6 см³ соляной кислоты. Колбу закрывают резиновой

пробкой, и края ее тщательно обмазывают менделеевской замазкой. Бюретку, размещенную в цилиндре, заполняют водой из склянки, соединенной с ней резиновой трубкой с краном. Перекрывают все краны, отсекающие реакционную колбу от атмосферы, и соединяют ее с бюреткой. Затем опрокидывают фарфоровый тигель с кислотой. Выделяющийся углекислый газ поступает в бюретку и вытесняет из нее воду в кольцевое пространство между бюреткой и цилиндром. После завершения химической реакции уровень воды в кольцевом пространстве снижается до уровня воды в бюретке, с тем, чтобы устранить избыточное давление образовавшегося столба жидкости. По разности уровней в градуированной бюретке до и после реакции породы с кислотой определяют объем выделившегося углекислого газа (в см³).

Оборудование и материалы

- 1). Прибор Кларка для определения карбонатности.
- 2). Барометр-анероид.
- 3). Термометр.
- 4). Фарфоровая или агатовая ступка с пестиком.

Указания по технике безопасности:

1. Перед началом работы в лаборатории необходимо внимательно ознакомиться с темой работы, уяснить цель работы, составить план её выполнения и лишь после этого приступить к анализу.

2. В лаборатории необходимо работать в халате. Верхнюю одежду следует оставлять в гардеробе или размещать в специально предназначенных для этого шкафах в лаборатории.

3. Методические пособия, рабочие тетради и лабораторные журналы, предназначенные для выполнения работы, следует оберегать от попадания на них воды, растворов кислот, щелочей и других химических реактивов. Лишние книги, журналы и тетради не должны находиться на рабочем столе.

4. Если реактив взят в избытке и полностью не израсходован категорически воспрещается выливать его в склянку с реактивом.

5. Реактивы, дистиллированную воду, газ и электричество следует расходовать экономно.

6. По окончании работы необходимо тщательно убрать рабочее место, выключить электронагревательные и другие электрические приборы, закрыть воду и газ, закрыть окна и форточки, выключить вытяжную вентиляцию и освещение в лаборатории.

7. Категорически запрещается проводить опыты, не относящиеся к данной работе, без ведома преподавателя.

8. При работе с химическими реактивами (особенно с растворами кислот и щелочей) необходимо соблюдать осторожность и аккуратность. Добавлять в пробирку с реакционной смесью именно те реактивы и в таких количествах, которые указаны в методических указаниях к выполнению лабораторной работы.

9. Отработанные химические реактивы следует сливать в специальную емкость для слива реактивов, находящуюся в лаборатории. Запрещается выливать продукты реакции и сами реактивы в канализацию.

10. Следует помнить, что многие химические реактивы ядовиты и могут вызвать отравление. Поэтому следует избегать попадания реактивов на открытые участки кожи и по окончании работы тщательно вымыть руки.

11. Все опыты, связанные с применением или образованием газообразных ядовитых веществ, а также паров вредных и дурнопахнущих соединений, разрешается проводить только в вытяжном шкафу (под тягой). В случае остановки работы вытяжной вентиляции опыты в вытяжных шкафах должны быть немедленно прекращены.

12. Нагревание растворов в пробирке следует проводить на водяной бане. При этом необходимо постоянно поддерживать достаточное количество воды в резервуаре бани во избежание пожаро- и взрывоопасной ситуации.

13. Бережно обращаться с машиной, не подвергать ее ударам, перегрузкам;

14. Включать и выключать оборудование сухими руками и только при помощи кнопок "пуск" и "стоп";

15. Снимать и устанавливать сменные части оборудования осторожно, без больших усилий и рывков.

Задания

Содержание карбонатов в породе в пересчете на CaCO_3 определяют по формуле:

$$K = \frac{V \cdot \rho}{4,4a},$$

где K – содержание CaCO_3 в породе, %;

V – объем выделившегося углекислого газа, см^3 ;

– плотность CO_2 при температуре и барометрическом давлении во время опыта, мг/мл ;

a – вес исследуемого образца породы, г.

Плотность углекислого газа рассчитывают по формуле:

$$\rho = \frac{0,0026478 \cdot P_{\text{бар}}}{1 + 0,0366 \cdot T},$$

при измерении барометрического давления ($P_{\text{бар}}$) в мм ртутного столба и по формуле:

$$\rho = \frac{0,01986 \cdot P_{\text{бар}}}{1 + 0,0366 \cdot T},$$

при измерении барометрического давления в кПа. Здесь T – температура $^{\circ}\text{C}$

Содержание отчета

После выполнения работы должен быть составлен отчет, содержащий:

- цель работы;
- описание устройства для описания газопроницаемости;
- абсолютная, фазовая и относительная проницаемость;
- обработки результатов анализа.

Отчет представляется в письменном виде в отдельной тетради.

Контрольные вопросы и тестовые задания

1. Проницаемость, виды проницаемости.
2. Единицы проницаемости.
3. Последовательность определения коэффициента проницаемости.

Практическое занятие 9

Определение удельного содержания воды в керне на приборе и обводненности нефти

Цель ознакомиться со схемой устройства для насыщения образцов, изучить метод определения коэффициента открытой пористости.

Теоретическая часть

Обводненностью нефти называется относительное содержание воды в добываемой нефти, обычно выраженное в процентах. Динамика обводнения нефтяных скважин обуславливается в основном характером обводнения нефтяных пластов. Характер обводнения пластов-коллекторов весьма различен и зависит от свойств продуктивных пластов, начальных условий залегания нефти в пласте и системы разработки нефтяных месторождений. Но главное влияние на характер заводнения, а следовательно, и на динамику обводнения оказывает послойная и зональная неоднородность пластов. В первую очередь и интенсивно обводняются наиболее проницаемые прослои пласта, а слабопроницаемые слои заводняются очень медленно. Неравномерное обводнение пластов по их мощности и простираению усиливается при высоком соотношении вязкости нефти и воды.

Для определения целесообразности дальнейшей эксплуатации той или иной скважины достаточно сравнить ее обводненность с предельной для данного периода.

Если обводненность скважины окажется равной предельной или больше нее, необходимо решать вопрос об экономической целесообразности продолжения добычи жидкости из нее.

По мере роста обводненности нефти максимальный предельный дебит снижается, а минимальный — увеличивается.

При этом каждому значению обводненности соответствует два значения дебита — максимальный и минимальный.

Принцип работы установки

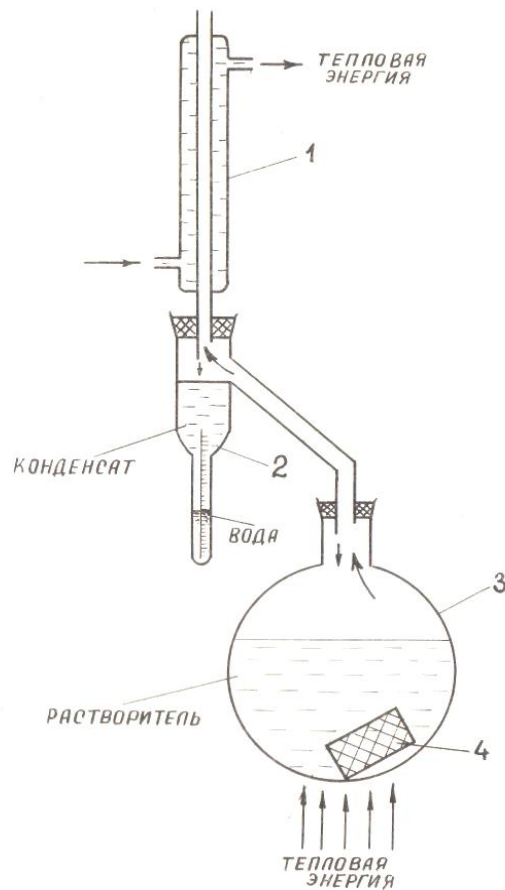


Рис. 9.1. Прибор Дина – Старка

Прибор Дина и Старка помещается в вытяжной шкаф и включает в себя:

1 – обратный холодильник, нижний отвод которого подсоединяется к водопроводу, верхний – к канализации;

2 – стеклянная ловушка, со шкалой, откалиброванной в единицах объема;

3 – колба емкостью 500 см³;

4 – образцы.

В процессе нагревания колбы 3 до температуры 100°C и более пары воды, содержащейся в порах образца, вместе с парами растворителя поднимаются в холодильник 1, в котором они конденсируются. Конденсат воды и растворителя стекает в ловушку 2. Вода в результате гравитационного разделения скапливается в нижней части ловушки, а растворитель – в верхней. Момент, когда растворитель в ловушке становится совершенно прозрачным, является первым признаком того, что процесс выделения воды из образца закончен.

По мере проведения опыта уровень воды в ловушке поднимается, а затем останавливается. Наличие четкой границы раздела позволяет определить численное значение объема выделившейся воды из образца V_v . В качестве растворителя можно использовать толуол C_7H_8 ($t_{кип} = 111^\circ C$), бензин прямой перегонки, из которого отогнаны легкие фракции, кипящие до $95^\circ C$. В любом случае растворитель подбирается таким образом, чтобы температура его кипения была выше температуры кипения воды. Растворитель и вода должны быть взаимно нерастворимыми благодаря чему в ловушке имеется четкая граница раздела.

Оборудование и материалы

- Прибор Дина и Старка;
- вытяжной шкаф;
- исследуемые образцы породы.

Указания по технике безопасности:

1. Перед началом работы в лаборатории необходимо внимательно ознакомиться с темой работы, уяснить цель работы, составить план её выполнения и лишь после этого приступить к анализу.
2. В лаборатории необходимо работать в халате. Верхнюю одежду следует оставлять в гардеробе или размещать в специально предназначенных для этого шкафах в лаборатории.
3. Методические пособия, рабочие тетради и лабораторные журналы, предназначенные для выполнения работы, следует оберегать от попадания на них воды, растворов кислот, щелочей и других химических реактивов. Лишние книги, журналы и тетради не должны находиться на рабочем столе.
4. Если реактив взят в избытке и полностью не израсходован категорически воспрещается выливать его в склянку с реактивом.
5. Реактивы, дистиллированную воду, газ и электричество следует расходовать экономно.
6. По окончании работы необходимо тщательно убрать рабочее место, выключить электронагревательные и другие электрические приборы, закрыть

воду и газ, закрыть окна и форточки, выключить вытяжную вентиляцию и освещение в лаборатории.

7. Категорически запрещается проводить опыты, не относящиеся к данной работе, без ведома преподавателя.

8. При работе с химическими реактивами (особенно с растворами кислот и щелочей) необходимо соблюдать осторожность и аккуратность. Добавлять в пробирку с реакционной смесью именно те реактивы и в таких количествах, которые указаны в методических указаниях к выполнению лабораторной работы.

9. Отработанные химические реактивы следует сливать в специальную емкость для слива реактивов, находящуюся в лаборатории. Запрещается выливать продукты реакции и сами реактивы в канализацию.

10. Следует помнить, что многие химические реактивы ядовиты и могут вызвать отравление. Поэтому следует избегать попадания реактивов на открытые участки кожи и по окончании работы тщательно вымыть руки.

11. Все опыты, связанные с применением или образованием газообразных ядовитых веществ, а также паров вредных и дурнопахнущих соединений, разрешается проводить только в вытяжном шкафу (под тягой). В случае остановки работы вытяжной вентиляции опыты в вытяжных шкафах должны быть немедленно прекращены.

12. Нагревание растворов в пробирке следует проводить на водяной бане. При этом необходимо постоянно поддерживать достаточное количество воды в резервуаре бани во избежание пожаро- и взрывоопасной ситуации.

13. Бережно обращаться с машиной, не подвергать ее ударам, перегрузкам;

14. Включать и выключать оборудование сухими руками и только при помощи кнопок "пуск" и "стоп";

15. Снимать и устанавливать сменные части оборудования осторожно, без больших усилий и рывков.

Задания

1). Результаты взвешивания, определения плотности рабочей жидкости и вычисления открытой пористости записывают в журнал.

2). Величину открытой пористости в процентах вычисляют по формуле:

$$m_0 = \frac{G_1 - G_c}{G_1 - G_2} \cdot 100 \cdot \%,$$

где G_c – масса сухого образца горной породы, г; G_1 – масса насыщенного жидкостью образца горной породы в воздухе, г; G_2 – масса насыщенного жидкостью образца горной породы в насыщающей жидкости, г.

3). При определении коэффициента открытой пористости жидконасыщением вычисляют по результатам взвешивания образца объемную плотность ρ_n , г/см³ по формуле:

$$\rho_n = \frac{G_c \rho_{ж}}{G_1 - G_2},$$

где $\rho_{ж}$ – плотность рабочей жидкости, г/см³, а также кажущуюся минералогическую плотность $\rho_{к.м.п.}$, г/см³ по формуле:

$$\rho_{к.м.п.} = \frac{G_c \cdot \rho_{ж}}{G_1 - G_2}.$$

4) Допустимые погрешности определения открытой пористости методом жидконасыщения не должны превышать установленных погрешностей.

Суммарная относительная погрешность определения открытой пористости составляет:

при $m_0 > 15 - 2 \%$;

при $5 < m_0 < 15 \%$ – от 2 до 5 %;

при $m_0 < 5 \%$ – до 10 %.

Содержание отчета

После выполнения работы должен быть составлен отчет, содержащий:

- цель работы;
- описание устройства;
- порядок выполнения работы;

- порядок обработки результатов анализа.

Отчет представляется в письменном виде в отдельной тетради.

Контрольные вопросы и тестовые задания

1. Определение «обводненность».
2. Принцип работы прибора Дина – Старка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При проектировании и реализации проектов добычи нефти большое значение имеет изучение различных физических свойств пород слагающих нефтегазосодержащие пласты, особенно их коллекторских свойств, нефте- и водонасыщенности.

Эти свойства изучают путем лабораторного анализа кернов и методами промысловой геофизики.

Физика пласта – наука, изучающая физические свойства пород нефтяных и газовых коллекторов, свойств пластовых жидкостей, газов и газоконденсатных смесей, а также физические основы увеличения нефте- и газоотдачи пластов.

Разработка каждого месторождения начинается с детального изучения физических свойств пород пласта пластовых жидкостей и газов.

От свойств пористых сред, пластовых жидкостей и газов зависят закономерности фильтрации нефти, газа и воды, дебиты скважин, продуктивность коллекторов.

В процессе эксплуатации залежей условия залегания нефти, воды и газа в пласте изменяются. Происходят значительные изменения свойств пород, пластовых жидкостей, газов и газоконденсатных смесей.

Необходимо изменение этих свойств рассматривать в динамике, в зависимости от изменения пластового давления, температуры и других условий в залежах.

Студент должен хорошо знать геологическое строение залежи, её физическую характеристику, физические и физико-химические свойства насыщающих пород нефти, газа и воды; должен уметь правильно обрабатывать и оценивать данные, которые получены при вскрытии пласта и при его последующей эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Коршак А. А. . Нефтегазопромысловое дело (введение в специальность) [Текст]: Ростов-на-Дону, 2015.– 348 с.
2. Кудинов В. И. . Основы нефтегазопромыслового дела [Текст]: М.: Ижевск, 2011.– 728 с.
2. Росляк А.Т. Физические свойства коллекторов и пластовых флюидов. Томск, - Изд-во ТПУ, 2010 г., – 140 с.

Дополнительная литература

3. Зозуля Г. П., Кузнецов Н.П., Ягафаров А.К.: Физика нефтяного пласта. Учебное пособие. – Тюмень 2006,. – 251.
4. Гиматудинов, Ш.К. Физика нефтяного и газового пласта [Текст]: учеб. для вузов/ Ш.К. Гиматудинов, А.И. Ширковский. – М.: Альянс, 2005.– 311 с.
5. Желтов, Ю. П. Разработка нефтяных месторождений : учебник для вузов / Ю. П. Желтов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Недра, 1998. - 365 с. : ил. - Библиогр. с. 359. - ISBN 5-247-03806-1
6. Мищенко И. Т. Скважинная добыча нефти. – М.: Изд. «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2003.
7. Гиматудинов, Ш. К. Физика нефтяного и газового пласта [Текст] /Ш.К. Гиматудинов. – М.: Недра, 1982. – 312 с

Учебное пособие

Коновалова Людмила Николаевна
Шестерень Алёна Олеговна

ФИЗИКА ПЛАСТА

Учебное пособие

для студентов направления подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело,
направленность (профиль): «Эксплуатация и обслуживание объектов добычи
нефти»

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по организации и проведению
самостоятельной работы

Физика нефтяного и газового пласта

для студентов направления подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело
направленность (профиль) «Эксплуатация и обслуживание объектов добычи
нефти»

Ставрополь 2026

Методические рекомендации предназначены для студентов вуза «Северо-Кавказский федеральный университет»

Цели методических рекомендаций:

1. Методическое сопровождение процесса введения и реализации требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (далее ФГОС ВО), помощь при разработке рабочих учебных программ дисциплин и профессиональных модулей образовательной программы (далее ОП).
2. Создание в образовательном учреждении учебно-методического обеспечения образовательного процесса.

Методические рекомендации определяют сущность самостоятельной работы студентов в вузе, её назначение, планирование, формы организации и виды контроля.

Содержание

- 1. Нормативное обеспечение самостоятельной работы в ФГОС ВО.**
- 2. Назначение и виды самостоятельной работы студентов.**
- 3. Контроль самостоятельной работы студентов преподавателями.**

1. Нормативное обеспечение самостоятельной работы в ФГОС ВО

1.1. ФГОС раздел: «Требования к условиям реализации ОП»:

– Требования к обязательному минимуму содержания образовательной программы подготовки специалиста, к условиям ее реализации и срокам ее освоения определяются настоящим федеральным государственным образовательным стандартом;

– основная образовательная программа подготовки специалиста состоит из дисциплин общенаучного и профессионального циклов, состоящих из базовой и вариативной частей и дисциплин по выбору;

– максимальный объем учебной нагрузки студента устанавливается 54 часа в неделю, включая все виды аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) учебной работы.

Во время самостоятельной подготовки обучающиеся должны быть обеспечены доступом к сети Интернет. Реализация образовательной программы подготовки специалиста должна обеспечиваться доступом каждого студента к библиотечным фондам и базам данных, формируемым по полному перечню дисциплин образовательной программы из расчета обеспеченности учебниками и учебными пособиями не менее 0,5 экземпляра на одного студента. Библиотека вуза должна иметь достаточное количество современных учебников и учебных пособий по всем циклам дисциплин и постоянно восполняться научной литературой и периодическими изданиями нефтегазового профиля

Объем времени, отведенный на внеаудиторную самостоятельную работу, находит отражение:

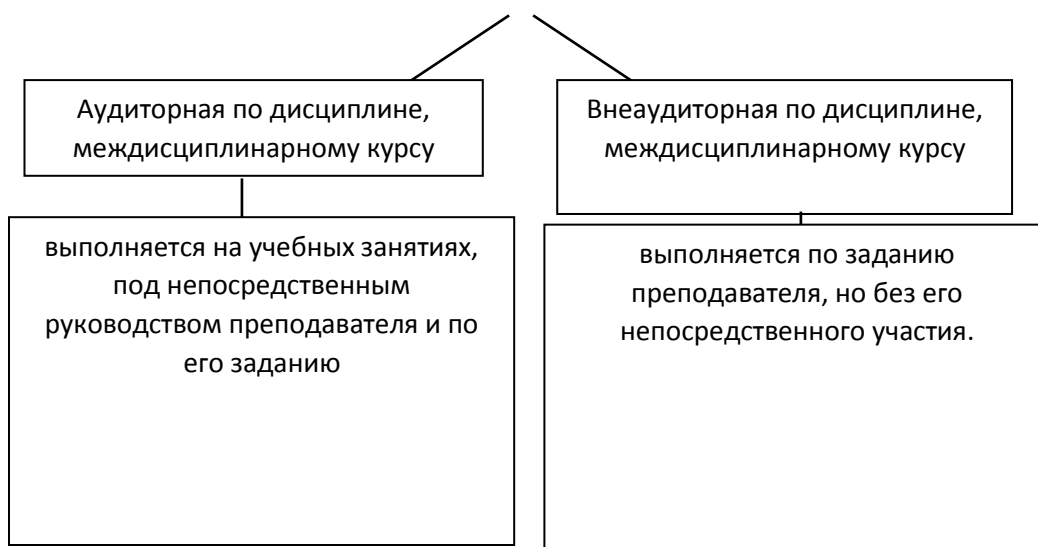
- в рабочем учебном плане – в целом по теоретическому обучению, каждому из циклов дисциплин;
- в рабочих программах учебных дисциплин циклов дисциплин с распределением по разделам или конкретным темам.

2. Назначение и виды самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности, организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, совершенствованию и самоорганизации;
- формирования практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развитию исследовательских умений.

В учебном процессе ОУ выделяются два вида самостоятельной работы:



Внеаудиторная самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

3. Контроль самостоятельной работы студентов преподавателями.

Контроль самостоятельной работы студентов предусматривает:

- соотнесение содержания контроля с целями обучения;
- объективность контроля;
- валидность контроля (соответствие предъявляемых заданий тому, что предполагается проверить);
- дифференциацию контрольно-измерительных материалов.

Формы контроля самостоятельной работы

1. Просмотр и проверка выполнения самостоятельной работы преподавателем.
2. Самопроверка, взаимопроверка выполненного задания в группе.
3. Обсуждение результатов выполненной работы на занятии.
4. Тестирование.
5. Письменный опрос.
6. Устный опрос.
7. Индивидуальное собеседование.
8. Коллоквиум.
9. Отчет о проделанной работе.
10. Защита рефератов или курсовой работы.
11. Творческий конкурс.
12. Интернет - конференции.
13. Контрольная работа.

Критерии оценки результатов самостоятельной работы

Критериями оценок результатов внеаудиторной самостоятельной работы студента являются:

- уровень освоения студентами учебного материала;
- умения студента использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- формирование набора из общекультурных и профессиональных компетенций будущего специалиста;

- умения студента активно использовать электронные образовательные ресурсы, находить требующуюся информацию, изучать ее и применять на практике;
- обоснованность и четкость изложения ответа;
- оформление материала в соответствии с требованиями;
- умение ориентироваться в потоке информации, выделять главное;
- умение четко сформулировать проблему, предложив ее решение, критически оценить решение и его последствия;
- умение показать, проанализировать альтернативные возможности, варианты действий;
- умение сформировать свою позицию, оценку и аргументировать ее.

**Содержание внеаудиторной самостоятельной
деятельности студентов**

Методические указания для студентов по выполнению самостоятельной работы:

1. Подготовка к лекциям
2. Подготовка к практическим занятиям