



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный  
технический университет**

---

**Кафедра «Горные работы»**

# **ГИДРОГЕОЛОГИЯ**

*Лабораторный практикум*

**Минск  
БНТУ  
2013**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Горные работы»

## ГИДРОГЕОЛОГИЯ

*Лабораторный практикум  
для студентов очной и заочной форм обучения  
специальности 1-51 02 01 «Разработка месторождений  
полезных ископаемых» (по направлениям)*

Минск  
БНТУ  
2013

УДК 556.3(076.5)(075.8)

ББК 26.35я7

Г46

Составители:

*Ф. Г. Халявкин, С. Г. Оника*

Рецензенты:

*Н. С. Данилова, Н. И. Березовский*

**Гидрогеология** : лабораторный практикум для студентов очной  
Г46 и заочной форм обучения специальности 1-51 02 01 «Разработка ме-  
сторождений полезных ископаемых» (по направлениям) / сост. :  
Ф. Г. Халявкин, С. Г. Оника. – Минск : БНТУ, 2013. – 34 с.

ISBN 978-985-550-196-2.

Лабораторные работы содержат задание, общие сведения, описание прибора, порядок выполнения работы, методику обработки полученных данных и контрольные вопросы по каждой работе.

**УДК 556.3(076.5)(075.8)**

**ББК 26.35я7**

ISBN 978-985-550-196-2

© Белорусский национальный  
технический университет, 2013

## ВВЕДЕНИЕ

Подземные воды в жизни людей играют очень важную роль, так как издавна используются человеком для питьевого и хозяйственно-технического водоснабжения. Вместе с тем, во многих отраслях народного хозяйства, в том числе и горнодобывающей промышленности, подземные воды в большинстве случаев играют отрицательную роль. Для предотвращения затопления или подтопления карьеров, рудников и шахт применяют различные дренажные сооружения и водоотливные установки. Выбор конкретных осушительных мероприятий и сооружений во многом зависит от гидрогеологических условий залегания полезного ископаемого.

Работники горнодобывающей отрасли, которые непосредственно занимаются разведкой месторождений полезных ископаемых, разработкой технических проектов, строительством и эксплуатацией карьеров, рудников и шахт должны знать вопросы рудничной гидрогеологии, как науки о подземных водах и способах борьбы с ними. Одним из путей познания вопросов рудничной гидрогеологии является выполнение лабораторных работ, которые предусматривают определение вязкости и химических свойств рудничной воды, основных водных свойств горных пород, вмещающих рудничные воды, а также проверку основного закона динамики подземных вод – закона Дарси.

## Лабораторная работа № 1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ

**Цель работы:** определение вязкости жидкости вискозиметром Энглера.

#### Общие сведения

Вязкостью называется свойство жидкости оказывать сопротивление относительному движению (сдвигу) ее частиц. Она обуславливает наличие сил внутреннего трения, возникающих при движении реальной жидкости. Вязкость жидкости может быть выражена в градусах Энглера  $^{\circ}E$ , кинематическим  $\nu$  и динамическим  $\mu$  коэффициентами. С увеличением температуры вязкость капельных жидкостей (вода, нефть, масло, бензин) уменьшается, а с увеличением давления – увеличивается.

Определяют вязкость жидкостей с помощью специальных приборов – вискозиметров.

#### Описание прибора

Вискозиметр Энглера (рис. 1.1) состоит из двух резервуаров 3 и 11. Внутренний резервуар 3 имеет сферическое дно, в центре которого припаена трубка 4, в отверстие которой вставлен калиброванный конический насадок 9, через который вытекает исследуемая жидкость. Отверстие насадка закрывается заостренным на конце стержнем 7. Вертикальная установка прибора производится с помощью винтов 6.

Внешний резервуар 11 играет роль водяной ванны, изменением температуры воды в которой устанавливают необходимую температуру исследуемой жидкости, контролируемую термометром 13.

Под насадок 9 устанавливается стеклянная колба 5 с двумя рисками 7. Нижняя риска соответствует емкости колбы  $100 \text{ см}^3$ , верхняя –  $200 \text{ см}^3$ .

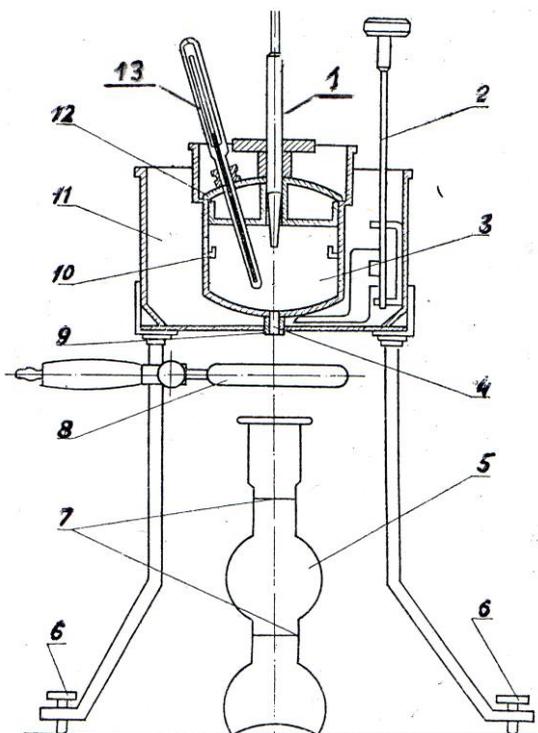


Рис. 1.1. Вискозиметр Энглера

### Порядок выполнения работы

Определение вязкости вискозиметром Энглера заключается в сопоставлении времени истечения  $200 \text{ см}^3$  исследуемой жидкости через насадок 9 при заданной температуре со временем истечения того же объема дистиллированной воды  $t_{\text{в}}$  при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Для этого снимают с вискозиметра крышку 12, убеждаются в чистоте резервуара 3. В насадку 9 вставляют стержень 1 и в резервуар 3 наливают примерно  $240 \text{ см}^3$  исследуемой жидкости. О вертикальности положения оси прибора судят по крючкам 10, находящимся в резервуаре 3. Крышку 12 закрывают, и под насадку 9 ставят пустую колбу 5. Придерживая крышку 12, вынимают стержень 1 и одновременно включают секундомер. Когда уровень жидкости в колбе достигнет верхней риски 7, секундомер выключают. Полученное

время  $t_{ж}$  в секундах и есть время вытекания  $200 \text{ см}^3$  исследуемой жидкости. Определение  $t_{ж}$  повторяют 3 раза.

### Обработка экспериментальных данных

Вязкость жидкости в градусах Энглера  $^{\circ}E$  определяют по формуле

$$^{\circ}E = \frac{t_{ж}}{t_{в}},$$

где  $t_{ж}$  – среднее опытное значение времени вытекания  $200 \text{ см}^3$  исследуемой жидкости, с;

$t_{в}$  – время истечения  $200 \text{ см}^3$  дистиллированной воды, равное 51 с.

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

$$\nu = 0,0731 ^{\circ}E - \frac{0,0631}{^{\circ}E}, \text{ см}^2/\text{с}.$$

Динамический коэффициент вязкости  $\mu$  жидкости определяют по формуле

$$\mu = \nu \cdot \rho, \text{ Па} \cdot \text{с},$$

где  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости;

$\rho$  – плотность исследуемой жидкости, определяемая с помощью ареометра.

Полученные значения коэффициентов вязкости сопоставляются со справочными, а все данные измерений и вычислений результатов опытов вносятся в соответствующие графы табл. 1.1.

Таблица 1.1

Исследуемая жидкость	№ опыта	Температура жидкости $t^{\circ}$	Плотность жидкости	Время истечения 200 см <sup>3</sup>		Вязкость исследуемой жидкости				
				иссл. жид-ти $t_{ж}$	дистилл. воды $t_{в}$	по данным опытов			по справочнику	
						условн. в град. Энглера, $^{\circ}E$	кинематич. к оэф. вязк. $\nu$	динамич. коэфф. вязк. $\mu$	кинематич. коэфф. вязк. $\nu$	динамич. коэфф. вязк. $\mu$
масло технич.									0,30	0,025

### Контрольные вопросы

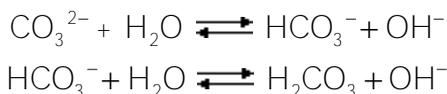
1. Что такое вязкость жидкости и чем она обусловлена?
2. Единицы измерения вязкости жидкости.
3. Устройство вискозиметра Энглера.
4. Порядок определения вязкости жидкости.
5. Расчетные зависимости перехода от вязкости в градусах Энглера к кинематическому и динамическому коэффициентам вязкости.

## Лабораторная работа № 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЩЕЛОЧНОСТИ ВОДЫ

#### Общие сведения

Щелочность воды, в т.ч. и рудничной, создается ионами гидроксид-иона  $\text{OH}^-$  – гидратная щелочность и ионами  $\text{CO}_3^{2-}$  – карбонатная щелочность. Эти ионы образуются в воде в результате диссоциации оснований или гидролиза солей, образованных слабой кислотой и сильным основанием



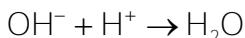
Ионы гидроксид-иона могут также образовываться при гидролизе гуминовых соединений.

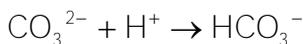
Щелочность измеряется числом миллиграмм – эквивалентов данного иона в 1 л воды (мг-экв/л). Общая щелочность равна сумме отдельных видов щелочности. Если вода содержит гидратную и карбонатную щелочность, то ее  $\text{pH} > 8,2$ .

Источником  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$  в природе служат различные карбонатные породы – известняки, доломиты, мергели, карбонатный цемент многих осадочных пород, а также некоторые органические вещества, при разложении и окислении которых выделяется углекислота, реагирующая с окружающими породами с образованием карбонатов и гидрокарбонатов.

Определяют щелочность титрованием 0,1н раствором соляной или серной кислоты последовательно с индикатором фенолфталеином и метилоранжем.

При титровании с фенолфталеином протекают реакции нейтрализации гидроксидных ионов  $\text{OH}^-$  и карбонатных ионов с образованием воды и гидрокарбонатов





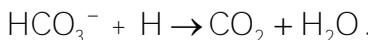
Следовательно, расход кислоты на титрование с фенолфталеином эквивалентен содержанию гидроокисей и половины карбонатов, так как последние нейтрализуются только наполовину до  $\text{HCO}_3^-$ . Таким образом,

$$\text{Щ}_\phi = [\text{OH}^-] + 0,5 [\text{CO}_3^{2-}],$$

где  $\text{Щ}_\phi$  – свободная щелочность воды в мг-экв/л;

$[\text{OH}^-]$  и  $[\text{CO}_3^{2-}]$  – концентрация гидроксильных и карбонатных ионов в мг-экв/л.

При дальнейшем титровании в присутствии метилоранжа происходит реакция нейтрализации гидрокарбонатов.



Следовательно, весь расход кислоты от начала нейтрализации и до конца эквивалентен содержанию ионов

$$\text{Щ}_\text{М} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-],$$

где  $\text{Щ}_\text{М}$  – общая щелочность воды, мг-экв/л.

Следует отметить, что при рН воды ниже 4,3 ее щелочность равна нулю.

Общая щелочность определяется титрованием 0,1н кислотой с индикатором метилоранжем, имеющим переход цвета в интервале рН 3,1–4,4. В этих условиях титруются и гуматы, давая соответствующие гуминовые кислоты.

Так как щелочность выражается в мг-экв/л, то число израсходованных миллилитров 0,1н кислоты на титрование 100 мл воды дает непосредственно щелочность воды.

**Задание.** Определить щелочность рудничной, болотной и грунтовой воды.

**Реактивы:** 0,1н раствор HCl; фенолфталеин 1%-ный раствор в 60%-ном спирте; метилоранж (0,03 %).

### Порядок выполнения работы

1. В коническую колбу на 250 мл берут по 100 мл испытуемой воды и вносят 2–3 капли раствора фенолфталеина.

2. Если первоначальная проба приобрела при добавлении фенолфталеина малиновый цвет, то это говорит о присутствии в воде гидратной и карбонатной щелочности.

3. Пробу титруют 0,1н раствором HCl до обесцвечивания. В этом случае титруется гидратная и половина карбонатной щелочности. Отмечают количество HCl, пошедшей на титрование.

4. В ту же пробу добавляют 2–3 капли метилоранжа и дотитровывают вторую половину карбонатной щелочности, отмечая количество HCl, пошедшей на дотитрование.

5. Если в пробе отсутствовала гидратная щелочность, то при первом титровании (с фенолфталеином) титруется половина карбонатной щелочности, а при втором – (с метилоранжем) – вторая половина карбонатной, бикарбонатная и гуматная щелочность.

6. В случае отсутствия гидратной и карбонатной щелочности (проба осталась бесцветной при добавлении 2–3 капель фенолфталеина) в пробу добавляют 2–3 капли метилоранжа и титруют 0,1н раствором HCl до перехода желтой окраски в оранжевую, определяя таким образом суммарную бикарбонатную и гуматную щелочность.

7. В каждом варианте испытаний щелочность воды рассчитывают по формуле

$$\text{Щ} = \frac{V_1 \cdot N \cdot 1000}{V_2},$$

где Щ – щелочность воды, мг-экв/л;

$V_1$  – объем 0,1н раствора HCl, пошедшего на титрование, мл;

$N$  – нормальность рабочего раствора кислоты  $\text{HCl}$ ;

$V_2$  – объем воды, взятой на исследование, мл.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое щелочность воды?
2. Каким числом измеряется щелочность?
3. Что является источником увеличения щелочности рудничной воды?
4. Методика определения щелочности воды.

## Лабораторная работа № 3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ КИСЛОТНОСТИ ВОДЫ

#### Общие сведения

Кислотность рудничной воды с рН более 4,5 зависит в основном от содержания свободной двуокиси углерода и в некоторых случаях от присутствия гуминовых и других слабых органических кислот. Если рН воды менее 4,5, в ней содержатся сильные кислоты, соли сильных кислот и слабых оснований. Различают следующие виды кислотности: общая, свободная и кислотность, зависящая от содержания гуминовых кислот.

**Общая кислотность** – эквивалентна расходу сильного основания (например,  $\text{NaOH}$ ) на реакцию с сильными и слабыми кислотами (включая  $\text{CO}_2$ ) при доведении рН раствора до 8,3.

**Свободная кислотность** – эквивалентна расходу сильного основания на реакцию только с сильными кислотами при доведении рН до 4,5.

**Концентрация гуминовых кислот** – эквивалента расходу сильного основания на титрование пробы воды после удаления из нее свободной двуокиси углерода, от рН 4,5 до рН 8,3.

**Задание.** Определить свободную и общую кислотность рудничной воды в контрольных пробах при рН до 4,5 и рН более 4,5.

**Реактивы:** 0,1н раствор  $\text{NaOH}$ ; фенолфталеин 1%-ный раствор в 60%-ном спирте.

#### Порядок выполнения работы

1. В коническую колбу емкостью 250 мл наливают 100 мл исследуемой воды и прибавляют 2–3 капли фенолфталеина.
2. Пробу титруют 0,1н раствором  $\text{NaOH}$  до появления слабозеленой окраски, не исчезающей 1–2 мин.
3. Расчет кислотности ведут по формуле

$$K = \frac{V_1 \cdot N \cdot 1000}{V_2},$$

где  $K$  – кислотность воды, мг-экв/л;

$V_1$  – объем 0,1н раствора NaOH, пошедшего на титрование, мл;

$N$  – нормальность рабочего раствора кислоты NaOH ;

$V_2$  – объем исследуемой пробы воды, мл.

### **Контрольные вопросы**

1. Чем обуславливается кислотность рудничной воды?
2. Что такое общая, свободная и гуминовая кислотность воды?
3. Методика определения свободной и общей кислотности воды.

## Лабораторная работа № 4

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ И КАПИЛЛЯРНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ ГРУНТОВ

### Общие сведения

**Влагодеемкостью** горной породы называется ее способность вмещать и удерживать в своих порах определенное количество воды. Различают следующие виды влагоемкости: гигроскопическую, молекулярную, капиллярную и полную.

**Гигроскопическая** влагоемкость обуславливается способностью горной породы притягивать из воздуха парообразную влагу и удерживать ее на своей поверхности. Ее величина зависит от влажности воздуха и своего максимального значения она достигает при относительной влажности воздуха 100 %.

**Молекулярная** влагоемкость – это способность горной породы удерживать с помощью электромолекулярных сил пленочную воду, находящуюся в жидкой фазе. Она зависит от гранулометрического и минерального состава горной породы.

**Капиллярная** влагоемкость обуславливается способностью горной породы насыщаться влагой за счет капиллярных сил.

**Полная** влагоемкость горной породы соответствует объему всех пор и пустот.

**Задание.** Определить максимальную молекулярную и капиллярную влагоемкость песков методом «высоких колонн».

**Принадлежности:** прибор для определения влажности методом «высоких колонн»; образец раздельнозернистой породы; фарфоровые чашечки (или бюксы) 9 штук, шпатель, весы, сушильный шкаф, щипцы.

### Описание прибора

Определение максимальной молекулярной и капиллярной влагоемкости для песков производится с помощью прибора «Высокая колонна», схема которого показана на рис. 4.1.

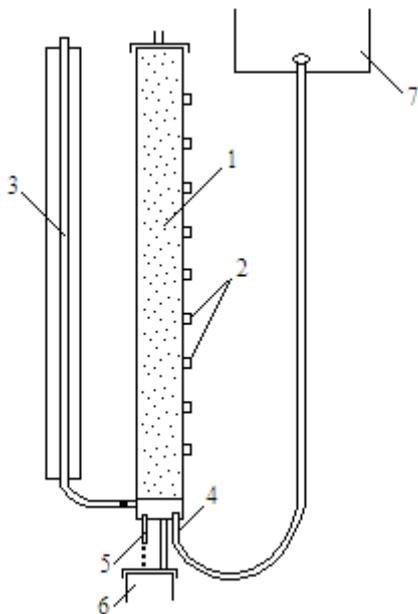


Рис. 4.1. Схема прибора для определения максимальной молекулярной и капиллярной влагоемкости песков

Прибор состоит из металлической колонны 1 длиной 1 м. В дно колонны впаяны две трубочки 4 и 5. Колонна по высоте имеет девять отверстий 2 диаметром 1,5 см, расположенных друг от друга на расстоянии 10 см. Нижнее боковое отверстие находится на расстоянии 5 см от дна. Каждое отверстие закрыто пробкой. К колонне с помощью резиновых шлангов подсоединяется манометр 3 и сосуд 7.

### Порядок выполнения работы

1. Наполнить колонну с легкой утрамбовкой испытуемым песком. По мере ее наполнения тщательно закрыть пробками боковые отверстия 2.

2. С помощью резинового шланга, подсоединенного к дну колонны через кран 4, произвести полное насыщение песка водой. Контроль насыщения осуществляется по водяному манометру 3.

Насыщение производится медленно и считается окончанным после появления над песком слоя воды толщиной 5–10 мм.

3. Прекратить подачу воды, закрыв входной кран 4 или пережав шланг, и открыть нижний кран 5 для спуска гравитационной свободной воды.

4. По прекращении стока воды взять шпателем до 30–40 г песка из каждого бокового отверстия в фарфоровые чашечки или бюксы и взвесить.

5. Взятые пробы высушить в сушильном шкафу и снова взвесить. Результаты взвешивания занести в табл. 4.1. Для определения влажности образцов можно применить ускоренный метод.

Таблица 4.1

Влагоемкость горной породы по высоте колонны

№ проб	Вес образца с чашкой, г		Вес воды, г	Влагоемкость пробы, %
	до высушивания	после высушивания		

6. Для каждой пробы по формуле вычислить влагоемкость и результаты занести в табл. 4.1

$$W = \frac{q_1 - q_2}{q_2} \cdot 100 \%,$$

где  $W$  – влагоемкость горной породы, %;

$q_1, q_2$  – масса породы до и после сушки, г.

7. В табл. 4.1. выделить в верхней части прибора зону постоянной влагоемкости, что будет соответствовать величине максимальной молекулярной влагоемкости. Зона максимальной влагоемкости в нижней части колонны определит величину капиллярной влагоемкости.

### Контрольные вопросы

1. Что называется влагоемкостью горной породы?
2. Что такое максимальная молекулярная и капиллярная влагоемкости горной породы?

3. Описать прибор, с помощью которого определялись максимальная молекулярная и капиллярная влагоемкость песков.
4. Методика определения влагоемкости грунтов.
5. В каких единицах выражают влагоемкость горной породы?
6. Какие примерные величины характеризуют максимальную молекулярную и капиллярную влагоемкости?
7. Какие существуют методы определения гигроскопической и полной влагоемкости горных пород?
8. Каково практическое применение показателей влагоемкости горной породы?

## Лабораторная работа № 5

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИГРОСКОПИЧЕСКОЙ И ПОЛНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

### Общие сведения

Гигроскопическая влагоемкость обуславливается наличием в атмосфере водяных паров и способностью силового поля поверхности частиц горной породы притягивать и удерживать парообразную влагу.

Полная влагоемкость горной породы соответствует объему всех пор и пустот и численно равна пористости породы.

Эти виды влагоемкости вычисляют по той же формуле, что и молекулярную и капиллярную

$$W = \frac{q_{\text{вл}} - q_{\text{сух}}}{q_{\text{сух}}} \cdot 100 \%,$$

где  $W$  – влагоемкость породы, %;

$q_{\text{вл}}$  – вес образца породы во влажном состоянии, г;

$q_{\text{сух}}$  – вес образца породы в сухом состоянии, г.

### 5.1. Определение гигроскопической влагоемкости

Гигроскопическая влагоемкость определяется путем взвешивания естественного сухого и специально высушенного образца при температуре 105 °С, обеспечивающей полное удаление молекул воды с поверхности частиц горной породы.

**Принадлежности:** технические весы; нагревательная лампа; образец глинистого песка объемом 2–3 см<sup>3</sup>; чашка; шпатель; щипцы.

### Порядок выполнения работы

1. Глинистый песок весом примерно 20 г растереть до исчезновения комочков и положить в чашку.

2. Чашку с образцом горной породы взвесить и поставить под нагревательную лампу и сушить до постоянного веса, периодически взвешивая образец породы с чашкой.

3. Зафиксировать вес после сушки и по формуле вычислить величину гигроскопической влагоемкости исследуемого образца.

## 5.2. Определение полной влагоемкости песка

Нахождение полной влагоемкости сводится к нахождению объема порового пространства в горной породе.

**Принадлежности:** фарфоровый стакан емкостью 100 см<sup>3</sup>; стеклянный стакан емкостью 50 см<sup>3</sup>; образец песка; технические весы; сушильный шкаф; щипцы.

### Порядок выполнения работы

1. Фарфоровый стакан заполнить испытуемым песком и произвести его легкую утрамбовку.

2. Песок в стакане осторожно насытить водой до появления очень тонкого слоя воды на его поверхности и взвесить.

3. Стакан с песком поместить в сушильный шкаф.

4. После высыхания стакан с песком взвесить и по формуле вычислить полную влагоемкость песка.

### Контрольные вопросы

1. Чем обуславливается гигроскопическая влагоемкость горной породы?

2. Что такое полная влагоемкость и какая ее связь с пористостью грунта?

3. Методика определения гигроскопической влагоемкости песка.

4. Методика определения полной влагоемкости песка.

5. Написать формулу расчета влагоемкости горных пород.

## Лабораторная работа № 6

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДООТДАЧИ ГОРНЫХ ПОРОД

#### Общие сведения

**Водоотдача** – это способность горных пород отдавать под действием сил гравитации (тяжести) свободную воду при осушении. По Лебедеву, водоотдача равна разности между полной и максимальной молекулярной влагоемкостями. Количественно ее выражают отношением объема вытекшей воды к объему всей породы в долях единицы или процентах. Наибольшей водоотдачей характеризуются горные породы с крупными пустотами и трещинами. Сильно трещиноватые граниты, известняки, песчаники, крупнозернистые пески и галечники могут отдавать содержащуюся в них воду почти полностью. Тонкозернистые пески, суглинки отличаются слабой водоотдачей, а такие грунты, как глины, не способны отдавать воду совсем, особенно в пластическом состоянии.

**Задание.** Определить коэффициент водоотдачи крупного и среднего песка. Полученные результаты сравнить с литературными, помещенными в табл. 6.1.

**Принадлежности:** прибор для определения водоотдачи грунтов; мерный цилиндр.

#### Описание прибора

Определение водоотдачи песка производится методом колонн. Одна из стенок колонны выполнена из стекла. Высота колонны 75 см, основание квадратное 15×15 см. На высоту 50 см колонна заполнена грунтом. В нижней части колонны имеется один кран для заполнения ее водой и второй – для ее слива.

#### Порядок выполнения работы

1. Открывают нижний кран и производят полное насыщение грунта водой. Подачу воды прекращают после ее появления сверху грунта.

2. Открывают нижний водосливной кран и с помощью мерного цилиндра измеряют объем вытекшей воды после полного прекращения ее поступления.

3. Коэффициент водоотдачи вычисляют как отношение объема вытекшей воды к объему грунта

$$\delta = \frac{Q}{W},$$

где  $Q$  – объем вытекшей воды,  $\text{см}^3$ ;

$W$  – объем грунта и колонны,  $\text{см}^3$ .

4. Данные заносят в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Результаты замеров и расчетов

Грунт	Объем вытекшей воды, $\text{см}^3$	Объем грунта, $\text{см}^3$	Коэффициент водоотдачи	Коэффициент водоотдачи по литературным данным
Песок крупнозернистый				0,25–0,30
Песок среднезернистый				0,20–0,25

**Контрольные вопросы**

1. Что такое водоотдача и коэффициент водоотдачи грунта?
2. Какая связь существует между водоотдачей и максимальной молекулярной и полной влагоемкостью?
3. Как зависит водоотдача от пористости горной породы?
4. Какой применяется метод и какова методика определения водоотдачи грунтов?
5. Какие численные значения коэффициента водоотдачи присущи различным видам грунтов?
6. Каково практическое применение коэффициента водоотдачи?

## Лабораторная работа № 7

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ПЕРЕМЕННОГО НАПОРА ВОДЫ

### Общие сведения

**Фильтрация** – это движение грунтовой воды в порах водонасыщенного грунта, происходящее под действием разности напоров. Так же, как и от водоотдачи, от скорости фильтрации зависит эффективность действия осушительных систем.

Скорость фильтрации воды в грунте характеризуется коэффициентом фильтрации, знание абсолютной величины которого необходимо при выборе способа и системы осушения карьеров добычи полезных ископаемых, расчете притока воды в карьер и гидравлических расчетах осушительных дрен и каналов.

**Задание.** Определить абсолютную величину коэффициента фильтрации песка ненарушенной структуры. Полученную величину сравнить с литературными данными и по ней определить вид песка, заложенного в прибор.

**Принадлежности:** прибор для определения коэффициента фильтрации грунта в лабораторных условиях; металлическая линейка; стеклянная колба на 200 мл; секундомер.

### Описание прибора

Для определения коэффициента фильтрации горных пород в лабораторных условиях чаще всего используется метод переменного напора Каменского. Прибор состоит из поддона 1 со сливной трубкой 2, цилиндра с испытуемым грунтом 3, цилиндра для создания гидравлического напора 4, чашечки для сбора профильтровавшейся воды 5 (рис. 7.1).

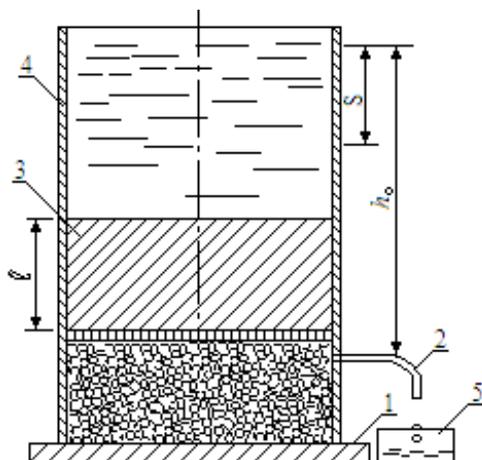


Рис. 7.1. Схема прибора Каменского

### Порядок выполнения работы

1. Из толщи грунта, коэффициент фильтрации которого необходимо определить, с помощью металлического цилиндра с надетым на него режущим кольцом путем осторожного вдавливания отбирают образец грунта ненарушенной структуры.

2. Образцы вместе с режущим кольцом укладывают в полиэтиленовый мешок и доставляют в лабораторию.

3. В течение часа образцы насыщают водой, поместив их в ванночку с водой глубиной 2–3 см.

4. Режущее кольцо вместе с образцом грунта вставляют в прибор и сверху одевают на кольцо металлический цилиндр для создания гидравлического напора путем наполнения его водой.

5. После установления режима фильтрации (равномерное падение капель из водосливной трубки) верхний цилиндр вторично заполняют до края водой и пускают секундомер.

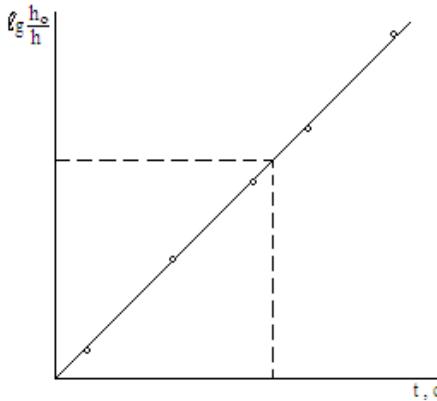
6. По мере падения уровня воды с помощью металлической линейки измеряют расстояние от верхнего края цилиндра до уровня воды, фиксируя при этом время, в которое производится замер. Частота замеров зависит от скорости падения уровня. Количество замеров 4–6. Результаты замеров заносят в табл. 7.1.

Таблица 7.1

## Результаты замеров и расчетов

Время от начала опыта, с	Понижение уровня воды $S$ , см	Гидравлический напор $h = h_0 - S$ , см	Величины отношения $h_0/h$	$\lg \frac{h_0}{h}$

7. С изменением напора изменяется скорость фильтрации, а в процессе замеров могут иметь место погрешности. Поэтому среднее значение коэффициента фильтрации определяют графоаналитическим методом, для чего по данным замеров строят график зависимости  $\lg \frac{h_0}{h}$  от времени  $t$  (рис. 7.2).

Рис. 7.2. График зависимости между  $\lg \frac{h_0}{h}$  и  $t$ 

8. В любом месте на сглаженной прямой графика выбирают точку и определяют значение тангенса ее угла наклона:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\lg \frac{h_0}{h}}{t}.$$

9. Значение среднего коэффициента фильтрации грунта вычисляют по формуле

$$k_{\phi} = 2,3 \cdot l \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $k_{\phi}$  – среднее значение коэффициента фильтрации, см/с;  
 $l$  – высота образца грунта, см.

В зависимости от коэффициента фильтрации по табл. 7.2. определяют вид горной породы.

Таблица 7.2

Численные значения коэффициентов фильтрации рыхлых горных пород по литературным данным

Горная порода	$k_{\phi}$ , см/с
Гравий	0,173–0,023
Песок: крупнозернистый	0,059–0,023
среднезернистый	0,023–0,0059
мелкозернистый	0,0059–0,0011
пылеватый	0,0011–0,00059
Супесь	0,00059–0,00011
Суглинок	0,00011–0,000059
Глина	0,000011

### Контрольные вопросы

1. Что называется фильтрацией и под действием каких сил она происходит?
2. Чем характеризуется скорость фильтрации?
3. В каких единицах выражают скорость и коэффициент фильтрации горных пород?
4. Какие существуют методы и приборы определения коэффициента фильтрации грунтов в лабораторных условиях?
5. Методика определения коэффициента фильтрации в лабораторных условиях и в чем необходимость построения графика?
6. Каково практическое применение коэффициента фильтрации и как он зависит от механического состава горных пород?

## Лабораторная работа № 8

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ПОСТОЯННОГО НАПОРА ВОДЫ

### Общие сведения

Данный метод определения коэффициента фильтрации грунтов применяется в полевых условиях. Для этого обычно отрывают шурфы и подают в них воду в таком количестве, чтобы поддерживался постоянный уровень. Метод применим при относительно глупобокостоянии уровня грунтовых вод.

В процессе налива измеряется инфильтрационный расход воды.

**Цель работы:** научиться определять коэффициент фильтрации грунта ненарушенной структуры в полевых условиях.

**Описание работы и аппаратура:** Прибор состоит из двух бачков (сосуды Мариотта), штатива и двух колец разного диаметра. Бачки служат для автоматической подачи воды в кольца при опыте. В верхней части бачка имеется отверстие для наполнения его водой. Стекло на стенке бачка имеет шкалу с ценой деления  $0,0001 \text{ м}^3$ . В нижней части бачка установлены водопускная и воздушная трубки с кранами. Первая служит для подачи воды из бачка в кольцо, а вторая – для подачи воздуха в бачок.

Штатив устанавливается на ободе большого кольца при помощи складных ножек. В средней части штатива имеется отвес, который служит для установки прибора в горизонтальное положение.

Кольца прибора имеют нижние и верхние круговые риски. Нижние показывают, на какую глубину надо вдавить кольца в грунт при опыте. Верхние – на каком уровне поддерживается вода.

На внутренней стороне малого кольца нанесены деления от «0» до «10» см для установки постоянного напора при опыте.

## Порядок выполнения работы

1. Поверхность грунта, где проводится опыт, очищают, выравнивают и покрывают слоем мелкого гравия толщиной около 2 см.
2. В грунт концентрично вдавливают оба кольца на глубину, соответствующую нижним круговым рискам, нанесенным на кольцах.
3. Во внутреннее кольцо и кольцевой зазор между его стенкой и внешним кольцом наливают воду на 2–3 см выше верхней риски.
4. На верхний ободок большого кольца устанавливают штатив, ножки которого крепят гайками.
5. На штатив устанавливают бачки: один – над внутренним кольцом, другой – над кольцевым зазором. Их устанавливают таким образом, чтобы концы воздушных трубок были расположены по урезу воды, а водовыпускных – на 2–3 см ниже.
6. Опыт проводят при постоянном уровне 10 см (верхняя риска). Заполняют бачки водой при закрытых кранах через верхнее отверстие.
7. Вначале открывают водоспускные, затем воздушные трубки. В табл. 8.1 записывают время начала опыта и уровень воды в бачках через определенные промежутки времени по водомерному стеклу.

Таблица 8.1

### Данные замеров и расчетов

Время замера $t$ , с	Интервал времени между замерами, с	Количество воды, вылившейся за интервал между замерами, м <sup>3</sup>	Фильтрационный расход $Q$ , м <sup>3</sup> /сут	Площадь фильтрации $F$ , м <sup>2</sup>	Коэффициент фильтрации $K_f$ , м/сут

8. Опыты продолжают до получения установившихся расходов (одинаковых в равные промежутки времени).
9. Зная фильтрационные расходы воды  $Q$  в единицу времени и площадь фильтрации  $F$ , определяют среднюю скорость фильтрации

$$V_{\text{ср}} = \frac{Q}{F}.$$

10. Коэффициент фильтрации определяется из формулы Дарси

$$V_{\text{cp}} = K_{\phi} \cdot I.$$

11. Так как при высоте столба воды 10 см напорный градиент  $I$  принимается равным единице, средняя скорость фильтрации численно равна коэффициенту фильтрации  $K_{\phi}$ :

$$V_{\text{cp}} = K_{\phi}.$$

Тогда  $K_{\phi} = \frac{Q}{F}$ .

12. Построить график зависимости фильтрационного расхода  $Q$  (с нарастающим итогом) от времени  $t$ .

### Контрольные вопросы

1. Порядок выполнения работы.
2. Какое назначение сосудов Мариотта в приборе?
3. Какая роль внешнего и внутреннего кольца прибора?
4. По каким расчетным зависимостям вычисляют скорость и коэффициент фильтрации грунта?

## Лабораторная работа № 9

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЗАКОНА ДАРСИ

#### Общие сведения

Движение грунтовых вод подчиняется закону Дарси, согласно которому скорость этого движения (скорость фильтрации)  $V$  и расход воды  $Q$  выражаются формулами

$$V = k_{\phi} \cdot I$$

и

$$Q = \omega \cdot V = \omega \cdot k_{\phi} \cdot I,$$

где  $\omega$  – площадь поперечного сечения грунта, через который происходит фильтрация, равная  $100 \text{ см}^2$ ;

$k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации, имеющий размерность скорости, см/с;

$I$  – гидравлический градиент напора.

Следовательно, закон Дарси устанавливает, что потери напора пропорциональны скорости фильтрации в первой степени, так как коэффициент фильтрации для данного грунта – величина постоянная.

#### Задания

1. Экспериментально доказать путем построения графика зависимость скорости фильтрации от градиентов напора:

$$V = f(I).$$

2. Вычислить коэффициенты фильтрации песка среднезернистого.

#### Описание установки

Установка представляет собой вертикальную колонну с основанием квадратного сечения размером  $10 \times 10$  см и высотой 75 см. Нижняя часть колонны на высоту 10–20 см заполнена грунтом и

имеет сливную трубку для измерения величины фильтрационного расхода  $Q$ .

Вода поступает в установку в верхней части. Для создания различных величин гидравлического напора и поддержания постоянного уровня воды в установке по высоте колонны имеется три переливные трубки.

### Ход работы

1. Осуществить подачу воды в установку. С поднятием уровня воды до первой переливной трубки вращением крана добиться, чтобы приток воды в колонну был равен расходу и тем самым поддерживался постоянный гидравлический напор  $h_1$ . Выдержав 3 минуты (для установления режима фильтрации), измерить объемным способом фильтрационный расход  $Q_1$ . Закрыв переливную трубку 1, поднять уровень воды до уровня переливной трубки 2. Выждав 3 минуты, измерить расход  $Q_2$  при напоре  $h_2$ .

2. Данные замеров записать в табл. 9.1 и выполнить соответствующие расчеты по определению скорости и коэффициента фильтрации.

3. Построить график функции  $v = f(l)$  и убедиться, что потери напора пропорциональны скорости фильтрации.

Таблица 9.1

Данные замеров и расчетов

Наименование грунта	Гидравлический напор $h$ , см	Высота грунта в колонне $l$ , см	Градиент напора $l = \frac{h}{l}$	Объем профильтровавшейся воды $V$ , см <sup>3</sup>	Время фильтрации $t$ , с	Расход воды $Q = \frac{V}{t}$ , см <sup>3</sup> /с	Скорость фильтрации $v = \frac{Q}{\omega}$ , см/с	Коэффициент фильтрации $k_{\phi} = \frac{v}{l}$ , см/с

## Контрольные вопросы

1. Как формулируется основной закон фильтрации – закон Дарси?
2. Как изменяются скорость и коэффициент фильтрации с увеличением напора для данного грунта?
3. Чему равна скорость фильтрации при градиенте напора, равном единице?
4. Методика проверки закона Дарси.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кантор, Е. М. Методическое руководство к лабораторным работам по курсу «Общая и горно-рудничная гидрогеология» / Е. М. Кантор, Г. Н. Харитоненко. – М.: МГИ, 1973. – 66 с.
2. Целикова, Т. В. Лабораторный практикум по курсу «Химия воды и микробиология» / Т. В. Целикова. – Минск: БПИ, 1961. – 62 с.
3. Халявкин, Ф. Г. Лабораторные работы по курсу «Гидрогеология» / Ф. Г. Халявкин. – Минск, 1990. – 40 с.
4. Гальперин, А. М. Гидрогеология и инженерная геология / А. М. Гальперин [и др.]. – Минск: Недра, 1989. – 383 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
Лабораторная работа № 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ .....	4
Лабораторная работа № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЩЕЛОЧНОСТИ ВОДЫ .....	8
Лабораторная работа № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ КИСЛОТНОСТИ ВОДЫ .....	12
Лабораторная работа № 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ И КАПИЛЛЯРНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ ГРУНТОВ .....	14
Лабораторная работа № 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИГРОСКОПИЧЕСКОЙ И ПОЛНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ ГОРНОЙ ПОРОДЫ .....	18
Лабораторная работа № 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДООТДАЧИ ГОРНЫХ ПОРОД .....	20
Лабораторная работа № 7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ПЕРЕМЕННОГО НАПОРА ВОДЫ .....	22
Лабораторная работа № 8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ПОСТОЯННОГО НАПОРА ВОДЫ .....	26
Лабораторная работа № 9 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЗАКОНА ДАРСИ .....	29
ЛИТЕРАТУРА .....	32

Учебное издание

## **ГИДРОГЕОЛОГИЯ**

*Лабораторный практикум  
для студентов очной и заочной форм обучения  
специальности 1-51 02 01 «Разработка месторождений  
полезных ископаемых» (по направлениям)*

Составители:

**ХАЛЯВКИН** Фёдор Григорьевич  
**ОНИКА** Сергей Георгиевич

Технический редактор *Д. А. Исаев*

Подписано в печать 11.06.2013. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 1,98. Уч.-изд. л. 1,54. Тираж 100. Заказ 290.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.