



Министерство образования  
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Горные работы»

# ФИЗИКА И ХИМИЯ ТОРФА

*Лабораторный практикум*

Минск  
БНТУ  
2010

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Горные работы»

ФИЗИКА И ХИМИЯ ТОРФА

Лабораторный практикум  
для студентов специальности 1-51 02 01  
«Разработка месторождений полезных ископаемых»  
специализации 1-51 02 01-01 02  
«Разработка торфяных месторождений»

Минск  
БНТУ  
2010

УДК 622.331(075.6)

ББК 33.35я7

Ф 50

С о с т а в и т е л и :

**А.А. Головач, Г.А. Куптель, А.И. Яцковец**

Р е ц е н з е н т ы :

**Л.С. Лис**, ведущий научный сотрудник лаборатории «Использование и охрана торфяных месторождений» Государственного научного учреждения «Институт природопользования» Национальной академии наук Беларуси  
кандидат технических наук;

**А.В. Лис**, заведующий кафедрой «Газоснабжение и местные виды топлива» учреждения образования «Государственный институт повышения квалификации и переподготовки кадров в области газоснабжения «ГАЗ-Институт», кандидат технических наук

Ф 50 Физика и химия торфа: лабораторный практикум для студентов специальности 1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых» специализации 1-51 02 01-01 02 «Разработка торфяных месторождений» / сост.: А.А. Головач, Г.А. Куптель, А.И. Яцковец. – Минск: БНТУ, 2010. – 121 с.

Лабораторный практикум служит руководством по самостоятельному определению студентами основных физических и химических свойств исходного торфа и готовой продукции. Издание предназначено для студентов высших учебных заведений по специальности 1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых», 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование» при изучении курса «Физика торфа».

## Введение

Развитие современного торфяного производства во многом определяется уровнем знаний о природе, составе и свойствах торфа. Прогресс в области механизации и автоматизации торфяного производства, создание новых и совершенствование существующих технологических процессов добычи и переработки торфа, расширение сфер его использования опирается на фундаментальные исследования общетехнических, физико-химических и физико-механических свойств торфа и торфяных месторождений.

Лабораторный практикум по физике и химии торфа является руководством к лабораторным занятиям студентов специальности 1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых» специализации 1-51 02 01-01 02 «Разработка торфяных месторождений» при выполнении лабораторных работ по курсу «Физика и химия торфа», а также может быть использован студентами специальности 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование» при изучении курса «Физика торфа».

Выполняя лабораторные работы, студенты получают навыки в постановке и проведении экспериментальных исследований, связанных с определением физических и химических свойств торфа, что способствует лучшему усвоению теоретического курса.

Сознательное, целенаправленное проведение эксперимента – залог успеха и гарантия правильности полученных результатов. Поэтому студенты заранее должны изучить приведенные в каждой работе теоретические положения, ознакомиться с приборами, методикой выполнения лабораторной работы и правилами техники безопасности.

После ответов на контрольные вопросы студенты приступают к выполнению лабораторной работы. Выполнив работу, студент составляет отчет, в котором приводится название работы и ее номер, цель работы, схема установки, расчетные формулы, таблица измеренных и расчетных величин. Законченный отчет должен быть подписан студентом и преподавателем, принявшим работу.

При подготовке лабораторного практикума по физике и химии торфа авторами были использованы результаты научных исследований, выполненных в области физико-химии торфа и опубликованных в монографиях, учебных пособиях и отдельных статьях.

## Лабораторная работа № 1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ В ТОРФЕ

#### Общие сведения

В естественных условиях торф содержит большое количество воды, удаление которой и является основной задачей технологии торфяного производства.

Для количественной оценки содержания воды в торфе служит показатель влажности, причем различают относительную влажность и абсолютную влажность.

**Относительная влажность** – это выраженное в процентах отношение массы воды  $M_v$ , находящейся в торфе, к общей массе торфа  $M$ , т.е.

$$W = \frac{M_v}{M} \cdot 100 \%$$

Относительная влажность изменяется от 0 до 100 %.

**Абсолютная влажность** – это выраженное в процентах отношение массы воды, находящейся в торфе, к массе сухого вещества торфа  $M_c$ , т.е.

$$W = \frac{M_v}{M_c} \cdot 100 \%$$

Абсолютная влажность изменяется от 0 до  $\infty$ .

Последний показатель иногда выражают в долях единицы массы, который носит в этом случае название «влагосодержание» и имеет размерность кг/кг (читается: столько-то килограмм воды на килограмм сухого вещества). Таким образом, влагосодержание – это выраженное в долях единицы массы отношение массы воды, находящейся в торфе, к массе сухого вещества торфа

$$U = \frac{M_v}{M_c} \text{ кг/кг.}$$

В общем случае масса образца торфа  $M$  состоит из массы сухого вещества  $M_c$  и массы воды  $M_v$  (массой газовой фазы пренебрегаем). Тогда взаимосвязь между  $w$  и  $W$  принимает вид

$$w = \frac{100 W}{100 + W} \quad \text{и} \quad W = \frac{100 w}{100 - w}.$$

Относительная влажность используется в расчетах по технологии торфяного производства, причем термин «относительная» обычно опускается. В расчетах по сушке и в физике торфа предпочтение отдается абсолютной влажности или влагосодержанию.

Для заданного количества торфа  $M$ , используя формулу относительной влажности, можно определить массу содержащейся в нем воды

$$\dot{\lambda}_{\bar{a}} = \frac{l \cdot w}{100} \text{ кг},$$

а также массу сухого вещества торфа

$$M_{\bar{n}} = \dot{\lambda} - \dot{\lambda}_{\bar{a}} = \frac{l (100 - w)}{100} \text{ кг}.$$

Отсюда находим связь между массой торфа и его относительной и абсолютной влажностями

$$\dot{\lambda} = \frac{l \bar{n} \cdot 100}{100 - w} \quad \text{и} \quad M = \frac{M_c (100 + W)}{100} \text{ кг}.$$

При изменении влажности образца торфа изменяется и его общая масса, а количество сухого вещества остается постоянным. Поэтому для пересчета массы торфа  $M_1$  с влажностью  $w_1$  на массу торфа  $M_2$  с влажностью  $w_2$  можно записать следующее равенство

$$\dot{\lambda}_{\bar{n}} = \frac{l_1 (100 - w_1)}{100} = \frac{M_2 (100 - w_2)}{100},$$

откуда

$$M_2 = \frac{M_1 (100 - w_1)}{100 - w_2} \text{ кг.}$$

Эта формула известна под названием формулы пересчета массы торфа с одной влажности на другую и весьма часто используется в практике. Из нее можно найти выражение для влажности

$$w_2 = 100 - \frac{M_1}{M_2} \cdot (100 - w_1) \%,$$

часто используемое в лабораторной и исследовательской практике для расчета влажности образца по его массе  $M_2$  при условии, что начальные значения  $M_1$  и  $w_1$  точно установлены.

Из формулы пересчета массы торфа с одной влажности на другую может быть получена важная в технологических расчетах формула для определения выхода воздушно-сухого торфа (готовой продукции)  $M_{в.с.}$ . Выходом воздушно-сухого торфа называется количество торфа условной влажности, полученное из 1 м<sup>3</sup> торфа в залежи. Если некоторый объем торфа в залежи  $V$  м<sup>3</sup> содержит  $M$  кг торфа с влажностью  $w$  %, то масса торфа при условной влажности  $M_{в.с.}$  будет

$$M_{\text{в.с.}} = \frac{M (100 - w)}{100 - w_{\text{в.с.}}} \text{ кг.}$$

Следовательно, из 1 м<sup>3</sup> получим

$$M_{\text{в.с.}} = \frac{M}{V} = \frac{M}{V} \cdot \frac{100 - w}{100 - w_{\text{в.с.}}} \text{ кг/м}^3.$$

Так как  $\frac{M}{V} = \gamma$  – плотность торфа, то выход воздушно-сухого будет рассчитываться по формуле

$$M_{\text{д.п.}} = \gamma \cdot \frac{100 - W}{100 - W_{\text{д.п.}}} \text{ кг/м}^3.$$

Следует иметь в виду, что в технологии торфяного производства для обозначения относительной влажности торфа в различных характерных его состояниях установилась определенная терминология:

- естественная влажность  $W_e$  – влажность торфа в неосушенной залежи. Обычно она колеблется от 86 до 95 %;

- эксплуатационная влажность  $W_s$  – влажность торфа в разрабатываемом слое осушенной залежи. При проектировании добычи торфа степень разложения  $R$  фрезерным способом  $W_s$  принимается по табл. 1.1.

Таблица 1.1  
Эксплуатационная влажность торфа при фрезерном способе добычи

Годы эксплуатации	Тип залежи			
	верховой, переходный		низинный	
	$R < 20 \%$	$R > 20 \%$	$R < 15 \%$	$R > 15 \%$
1-й и 2-й	84	82	82	78
последующие	81	79	80	75

- условная влажность  $W_{\text{усл}}$  – условно принятое значение влажности торфа для расчетов предприятия с потребителем и для технологических расчетов. Для топливного фрезерного торфа условная влажность равна 40 %, кускового торфа – 33 %, торфоминеральных удобрений – 55 %, подстилки I категории – 40 %, II категории – 45 %, торфяных брикетов – 17 %;

- рабочая влажность  $W_p$  – влажность, характеризующая содержание влаги в торфе, используемого для различных целей. В расчетах она принимается равной условной влажности;

- кондиционная влажность  $W_{\text{кон}}$  – влажность, характеризующая содержание влаги готовой продукции, не превышающая браковочного предела. Торф с кондиционной влажностью называется товарным. Для различных видов торфяной продукции установлены браковочные пределы по влажности. Для фрезерного торфа браковоч-



ным пределом является влажность 52 %, кускового – 48 %, фрезерной подстилки – 50 %, торфоминеральных удобрений – 60 %;

- натуральная влажность  $W_{nat}$  – влажность, которую имеет торф в данный момент.

Существующие методы определения влажности торфа подразделяются на прямые и косвенные (физические). Прямые методы основаны на непосредственном разделении материала на сухое вещество и влагу. В косвенных методах измеряется величина, функционально связанная с влажностью материала. Косвенные методы требуют предварительной калибровки с целью установления зависимости между влажностью материала и измеряемой физической величиной.

К прямым методам относятся:

- методы высушивания (типовой метод – сушка в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С и ускоренные методы – сушка в сушильном шкафу при температуре 145–150 °С, с применением лампы-термоизлучателя, с применением электрических осветительных ламп);

- дистилляционные – исследуемый образец подогревается в сосуде с определенным количеством жидкости, не смешивающейся с водой. Выделяющиеся пары воды вместе с парами жидкости подвергаются отгонке и, проходя через холодильник, конденсируются в измерительном сосуде, в котором измеряется объем или массаводы;

- экстракционные, основанные на извлечении влаги из исследуемого образца твердого материала водопоглощающей жидкостью (диоксан, спирт) и определении характеристик жидкого экстракта, зависящих от его влагосодержания;

- химические – твердый материал обрабатывается реагентом, вступающим в химическую реакцию только с влагой, содержащейся в образце. Количество воды в образце определяется по количеству жидкого или газообразного продукта реакции. Наиболее распространенными химическими методами являются карбидный (газометрический) метод и применение реактива Фишера (метод К. Фишера).

Косвенные методы по характеру измеряемого свойства, зависящего от влажности, разделяют на электрические и неэлектрические.

В основу электрических методов положено прямое измерение электрических параметров материала – проводимости материала на

постоянном токе и переменном токе промышленной или звуковой частоты (кондуктометрические влагомеры), комплексной диэлектрической проницаемости и ее составляющих в диапазоне от звуковых до сверхвысоких частот (емкостные) и измерения на сверхвысоких частотах (СВЧ-влагомеры).

К важнейшим неэлектрическим относятся методы, основанные на использовании: теплофизических характеристик материала; гамма-лучей и нейтронов (радиометрические); родственным является метод, основанный на использовании рентгеновского излучения; акустических свойств материала; ядерного магнитного резонанса (ЯМР); видимого света и инфракрасного излучения – спектральные методы.

**Целью данной работы** является определение содержания влаги в торфе типовым методом и ускоренным методом при помощи прибора с лампой-термоизлучателем.

### **Определение влажности торфа типовым методом**

Типовой метод заключается в высушивании навески торфа в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С и определении потери массы взятой навески. Торф, досушенный при этой температуре до постоянной массы, называют сухим веществом.

**Аппаратура:** сушильный шкаф; стаканчики (бюксы) стеклянные или алюминиевые с крышками; термометр химический до 120–150 °С; весы; эксикатор с осушающим реактивом (серная кислота или гранулированный хлористый кальций); шпатель, ложка, челнок для взятия навески, щипцы тигельные.

### **Порядок выполнения работы**

1. Два алюминиевых бюкса взвесить на весах с точностью до  $\pm 0,01$  г.
2. Лабораторную пробу торфа с размером частиц в 2–3 мм тщательно перемешать шпателем или ложкой и отобрать в бюксы две навески торфа массой 5–10 г (в зависимости от степени разложения). Бюксы сразу же закрыть крышками.

3. Взвесить бюксы с навесками, открыть крышки и поместить бюксы в предварительно нагретый до температуры 105–110 °С сушильный шкаф и сушить в течение 4 час.

4. Извлечь бюксы из шкафа, закрыть крышками и поместить в эксикатор для охлаждения до комнатной температуры, после чего определить их массу.

5. Поместить открытые бюксы в сушильный шкаф на 30 мин. для контрольного подсушивания, охладить в эксикаторе и определить массу.

6. Рассчитать относительную и абсолютную влажность, а также влагосодержание.

Подсчет результатов определения содержания влаги в торфе производят до сотых долей, а окончательные результаты округляют до десятых долей процента.

Расхождение между параллельными определениями относительной влажности допускается не более 0,5 %.

7. Результат анализа занести в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Дата \_\_\_\_\_

Торф (тип, вид \_\_\_\_\_, степень разложения \_\_\_\_\_)

№ бюкса	Масса бюкса, г	Масса бюкса с торфом, г	Навеска торфа, г	Масса бюкса с торфом после сушки			Масса воды, г	$W$ , %	$W_{ср}$ , %	$W_i$ , %	$U_i$ , кг/кг
				основной, г	I контрольной, г	II контрольной, г					

### Определение влажности торфа ускоренным методом с применением лампы-термоизлучателя

При необходимости влажность торфа (торфяной продукции) может быть определена менее точными ускоренными методами,

основанными на высушивании навески торфа до постоянной массы при температуре 140–150 °С и вычислением количества испарившейся при этом влаги. Хотя определения ускоренным методом менее точны, однако они позволяют получать результаты значительно быстрее, что дает возможность использовать их в оперативном управлении производственными процессами.

Определение влажности торфа ускоренным методом с применением лампы-термоизлучателя производится при помощи прибора «ИЛ-3МА».

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с устройством и работой прибора «ИЛ-3МА».
2. В предварительно взвешенную чашку отобрать из лабораторной пробы навеску торфа массой 5–10 г и взвесить. Взвешивание производить с точностью до  $\pm 0,01$  г.
3. Открыть дверцу прибора подняв, ее в верхнее или среднее положение и поставить чашку с навеской на подставку.
4. Нажимая вниз на рукоятку ворошилки движением ручки «от себя», довести ворошилку до чашки и плавно опустить.
5. Подвести термометр ко дну чашки.
6. Включить тумблер «мотор» и убедившись, что чашка вращается и перемешивание навески торфа происходит нормально, закрыть дверцу и включить тумблер «лампа».
7. Заметить время включения лампы.
8. Через светофильтр в дверце наблюдать за процессом сушки торфа, который длится в среднем 5–10 минут (в зависимости от влажности торфа). Конец сушки характеризуется прекращением выделения паров воды.
9. По окончании процесса испарения выключить сначала лампу, а затем через 5–10 секунд выключить электродвигатель.
10. Открыть дверцу, отвести термометр в верхнее положение, поднять и отвести в сторону ворошилку.
11. Щипцами вынуть чашку и поставить ее на асбестовый лист.
12. Чашку накрыть холодным чистым стеклом. В случае конденсата паров воды на нижней поверхности стекла поставить чашку на подставку и досушить навеску торфа.

13. Высушенной навеске дать время для охлаждения до комнатной температуры, после чего приступить к взвешиванию.

14. Рассчитать относительную и абсолютную влажности, а также влагосодержание. Допускаемые расхождения между параллельными определениями относительной влажности не должны превышать 1,5 %.

15. Результаты анализа занести в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Дата \_\_\_\_\_  
Торф (тип, вид \_\_\_\_\_, степень разложения \_\_\_\_\_)

№ чашки	Масса чашки, г	Масса чашки с торфом, г	Масса навески торфа, г	Масса чашки с торфом после сушки, г	Масса воды, г	Масса сухого вещества, г	$W$ , %	$W_{cp}$ , %	$W$ , %	$U$ , кг/кг

### Контрольные вопросы

1. Оценка содержания влаги в торфе (влажность и влагосодержание).
2. Связь между относительной и абсолютной влажностями.
3. Зависимость массы торфа от влажности. Пересчет массы торфа с одной влажности на другую.
4. Выход воздушно-сухого торфа.
5. Терминология по влажности.
6. Методы определения влажности торфа.

### Литература

1. Семенский, Е.П. Технический анализ торфа / Е.П. Семенский. – М.: Недра, 1966. –232 с.
2. Физико-химические основы технологии торфяного производства / И.И. Лиштван [и др.]. –Минск: Наука и техника, 1983. – 232 с.

## Лабораторная работа № 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛЬНОСТИ ТОРФА УСКОРЕННЫМ МЕТОДОМ

#### Общие сведения

Неорганическая часть торфа, представленная остатком после сжигания, называется золой. Содержание золы в торфе оценивается показателем зольности. Различают рабочую зольность  $A^p$  и зольность на сухое вещество  $A^c$ .

Отношение массы минеральной части торфа (золы)  $M_z$  ко всей его массе  $M$ , выраженной в процентах, называется рабочей зольностью

$$A^p = \frac{M_z}{M} \cdot 100 \text{ \%}.$$

Отношение массы золы  $M_z$  к массе сухого вещества торфа  $M_c$ , выраженное в процентах, называется зольностью на сухое вещество

$$A^c = \frac{M_z}{M_c} \cdot 100 \text{ \%}.$$

Так как масса сухого вещества торфа связана с общей массой и влажностью  $w$  соотношением

$$M_c = \frac{M(100 - w)}{100},$$

а выражения  $A^p$  и  $A^c$  связаны между собой, то получим связь между зольностью на сухое вещество и рабочей зольностью

$$A^c = \frac{A^p \cdot 100}{100 - w} \text{ \%}.$$

В качестве характеристики неорганической части торфа используют зольность на сухое вещество, т.к. она не зависит от влажности торфа.

В торфе различают первичную (или конституционную) золу и вторичную (или наносную). Источником поступления первичной золы в торф является минеральная часть растений – торфообразователей, а вторичной – атмосферная пыль, грунтовые и поверхностные воды.

Различные типы торфа характеризуются следующими значениями конституционной зольности: верховой – 2,5–4 %, переходный – 4–6 %, низинный – 6–13 %.

По содержанию золы торф подразделяется на: малозольный,  $A^c < 5$  %; средnezольный,  $A^c = 5 \div 10$  %; высокозольный,  $A^c > 10$  %.

Зольность торфа не может превышать 50 %. Выше этого значения торф переходит в разряд высокогумифицированных почв.

При производстве различных видов торфяной продукции к сырью предъявляются строгие требования по содержанию золы. Бракочные пределы по зольности для торфяной продукции следующие: фрезерный торф, идущий на топливо –  $A^c \leq 25$  %; фрезерный торф, идущий на брикетирование –  $A^c \leq 15$  %; торф, идущий на удобрение –  $A^c \leq 30$  %.

Зольность торфа определяется типовым (стандартным) методом и различными модификациями ускоренного метода. Для оперативного контроля производства обычно используется ускоренный метод.

Кроме того разработан радиоизотопный метод определения зольности торфа, физической основой которого является зависимость интенсивности обратнорассеянного  $\beta$ -излучения от атомного номера рассеивающей среды.

**Целью данной работы** является определение зольности торфа ускоренным методом с использованием муфельной печи.

Сущность этого метода состоит в сжигании и озолении торфа, помещенного в фарфоровые глазурованные тигли, в муфельной печи при температуре  $800 \pm 25$  °С с последующим определением массы прокаленного остатка (золы).

**Аппаратура:** электрическая муфельная печь с устойчивой температурой нагрева  $800 \pm 25$  °С; термомпара для измерения температуры до 850 °С с гальванометром; тигли глазурованные с крышкой № 5 или № 6; весы аналитические; щипцы тигельные, шпатель, ложка; эксикатор с осушающим реактивом; асбестовый лист; аппаратура для определения влажности торфа.

### Порядок выполнения работы

1. Взвесить два тигля на аналитических весах.
2. Из лабораторной пробы отобрать и поместить во взвешенные тигли навески торфа массой 1,0–1,5 г. Тигли с навесками взвесить на аналитических весах с точностью  $\pm 0,0002$  г.
3. Тигли с навесками торфа закрыть крышками и поставить на под муфельной печи (под печи заполнять не более, чем на половину), разогретой до температуры  $800 \pm 25$  °С. Через 15 минут снять крышки с тиглей и продолжить прокаливание в закрытой муфельной печи до полного озоления нелетучего остатка (до прекращения искрения), но не менее 30 минут.
4. После прокаливания тигли с золой извлечь из муфельной печи, охладить в течение 5 минут на воздухе на асбестовом листе, а затем в эксикаторе до комнатной температуры и взвесить.
5. Рассчитать зольность торфа. Вычисления производить до сотых долей и округлять до десятых, при этом доли менее 0,05 % отбрасывать, а равные или более 0,05 % считать за 0,1 %. Допустимые расхождения между результатами двух параллельных определений не должны превышать: 0,5 % – при  $A^p \leq 15$  % и 1,0 % – при  $A^p > 15$  %.
6. Рассмотреть визуально остаток в тиглях. Наличие черного остатка – кокса свидетельствует о неполном озолении торфа. В протоколе работы отметить вид золы, наличие несгоревших частиц и сделать в связи с этим вывод о достоверности полученных показателей зольности.
7. Результаты анализа записать в табл. 2.1.



Таблица 2.1

Торф (тип, вид \_\_\_\_\_, степень разложения \_\_\_\_\_%, влажность \_\_\_\_\_%)

№ тиглей	Масса пустого тигля, г	Масса тигля с торфом, г	Масса навески торфа, г	Масса тигля с золой, г	Масса золы, г	$A^p$ , %	$A^c$ , %	$A^c_{ср.}$ , %

### Контрольные вопросы

1. Зольность торфа. Первичная и вторичная зола торфа.
2. Основные источники накоплений неорганических соединений в торфе.
3. Классификация торфа по зольности.
4. Требования различных производств к содержанию золы в торфе.
5. Методы определения зольности торфа.

### Литература

1. Семенский, Е.П. Технический анализ торфа / Е.П. Семенский. – М.: Недра, 1966. – 232 с.
2. Физико-химические основы технологии торфяного производства / И.И. Лиштван [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1983. – 232 с.

## Лабораторная работа № 3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЗОЛЫ ТОРФА

#### Общие сведения

Химический состав неорганической части (золы) торфа обуславливает ряд важнейших его физико-химических свойств.

Основными источниками неорганической части торфа являются: водная миграция неорганических компонентов, поступающих с паводковыми и грунтовыми водами; воздушная миграция и биогенная миграция. В результате этих явлений происходит накопление и перераспределение неорганических соединений в торфе и частичный вынос их в процессе питания растений-торфообразователей.

Валовой состав неорганической части отражает общее содержание элементов торфа. Каждый же элемент находится в различных соединениях.

Химические элементы неорганической части в торфе находятся в виде ионов, солей или комплексных соединений. В торфе различают пять форм существования химических элементов: неорганические минералы торфа; неорганические компоненты торфяной воды; ионообменные гетерополярные органоминеральные комплексы; комплексно-гетерополярные органоминеральные соединения; адсорбционные комплексы органических веществ с минеральной частью торфа.

**Неорганические минералы торфа.** Минералы в торфе с генетических позиций разделяют на терригенные, аутигенные и биогенные. **Терригенные** минералы – обломочный материал пород и минералов, поступающих на торфяное месторождение путем водной и воздушной миграции. К ним относятся такие минералы как кварц, полевой шпат, слюда, глинистые минералы и др. **Аутигенные** минералы возникают в результате химического взаимодействия растворенных веществ друг с другом при изменении реакционной способности среды. К ним относятся лимонит, вивианит, сидерит, пурит, гипс и др. **Биогенные** минералы возникают в растениях в процессе их отмирания и дальнейшего биохимического распада органической части растительного материала. Минералами биогенного происхождения являются фитоолиты (кремневые образования типа

опал) и вевелит (кальциевые образования). Содержание минералов увеличивается от верховых к низинным типам торфа, что также связано с большим количеством их источников поступления на низинные торфяные месторождения. На содержание и состав минералов в торфе большое влияние оказывает геологическое окружение и удаленность от крайковой зоны участка торфяного месторождения. Основным минералом в торфе является кварц. Он составляет 70–90 % от суммы всех минералов торфа. Общее содержание минералов в торфе верхового типа может колебаться от 1 до 30 %, а низинного от 1 до 50 % от зольности торфа.

**Неорганические компоненты торфяной воды.** Эти вещества встречаются в ионной, молекулярной и коллоидной формах, а также в виде органоминеральных комплексов. Неорганическая часть торфяной воды представлена в основном катионами и анионами химических элементов. Из анионов в торфяной воде встречаются  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Среди катионов преобладают  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ . Общее содержание катионов в торфяной воде верхового торфа составляет 40–70 мг/л, переходного – 70–180, низинного > 180 мг/л.

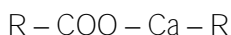
Содержание катионов в торфяной воде (особенно  $\text{Ca}^{2+}$ ) влияет на кислотность среды, определяет концентрацию растворенных органических соединений. Например, в жестких водах торфяных залежей низинного типа, где много кальция и магния, содержание растворенного органического вещества меньше, чем в водах торфяных залежей верхового типа. Это связано с тем, что свободные органические кислоты образуют нерастворимые соли, выпадающие в осадок. С другой стороны кальций способствует эмульгированию битумов, что приводит к обогащению битумами торфяной воды залежей низинного типа (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Содержание органического вещества в торфяной воде, мг/л

Тип залежи	Сумма органического вещества	Битумы	Гуминовые кислоты
Верховой	280–520	4,0	23,6
Низинный	100–350	50,0	21,6

**Ионообменные гетерополярные органоминеральные комплексы.** Они образуются при взаимодействии функциональных групп органических кислот с катионами сильных оснований (кальцием, магнием, натрием, калием). Механизм образования сводится к обменной реакции между водородом функциональных групп органических кислот и катионами. Комплексы образуются на основе ионообменных реакций активных групп гуминовых веществ с катионами торфяной воды. Примером образования ионообменных гетерополярных органоминеральных комплексов может быть следующая схема:



**Комплексно-гетерополярные органоминеральные соединения.** Они образуются при совместном проявлении ионной и ковалентной или ионной и координационной связей между катионами и молекулами органического вещества. Среди органоминеральных соединений наибольшее значение имеют внутрикомплексные соединения, называемые хелатами (от греческого слова «хела» – клешня). Хелатообразование рассматривают как равновесную реакцию между ионами металла и органической молекулой, при которой между компонентами образуются более чем одна связь. В результате хелатообразования формируется циклическая структура, замкнутая координационными связями концевых атомов.

В хелате чаще всего имеются два вида связей:

- ионная связь осуществляет взаимодействие между водородом функциональных групп (-COOH, -OH) и катионом;
- координационная связь (донорно-акцепторная связь) дополнительно связывает металл с атомами или группами атомов органической молекулы (-CO, -OH, -NH<sub>2</sub>). Металл как бы втягивается во внутреннюю сферу молекулы, входя в состав сложного иона молекулы (чаще в состав аниона). Примером такого типа хелата является гликолят меди.

В ряде случаев возможно образование хелата только при участии координационной связи, при этом сложный ион сохраняет положительный знак заряда.

Учитывая способность хелатных соединений к обмену поглощению ряда катионов, их следует рассматривать как комплекс-

но-гетерополярные соли, в которых часть металла сохраняет способность к обменным реакциям, часть фиксируется прочно. Хелаты обладают различной степенью устойчивости и подвижности в зависимости от активности среды, что предопределяет миграцию (перемещение) и аккумуляцию (накопление) в торфяных залежах различных металлов и органических веществ.

**Адсорбционные комплексы органических веществ с минеральной частью торфа.** Эти соединения изучены недостаточно. Из целой гаммы таких комплексов можно выделить органические пленки на минералах, образующиеся в результате адсорбции гуминовых веществ, и нерастворимые комплексы гуминовых веществ с не силикатными формами полуторных окислов ( $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ). При образовании нерастворимых продуктов основным механизмом является адсорбция гуминовых веществ на гелях полутораокисей. Возможно формирование комплексов из минеральных коллоидов и гуминовых веществ за счет взаимодействия через катионы, в первую очередь через ионы железа.

Различные формы существования неорганических компонентов в торфе указывают на сложный механизм взаимодействия неорганической части с органическим веществом торфа. Знание механизма этих взаимодействий позволяет направленно изменять ряд физико-химических свойств торфа.

**Целью данной работы** является освоение химических методов определения валового содержания следующих элементов в виде окислов:

- кремниевой кислоты  $SiO_2$ ;
- полуторных окислов  $R_2O_3$  и фосфора  $P_2O_5$ ;
- окиси кальция  $CaO$ ;
- окиси магния  $MgO$ ;
- окиси щелочных металлов  $K_2O+Na_2O$ .

**Аппаратура:** тигли фарфоровые большие; тигли платиновые; фарфоровые чашки; стаканы химические; промывалка; колба мерная на 500 мл; эксикатор; щипцы; муфельная печь; сушильный шкаф; агатовая ступка; шелковое сито; баня водяная; стеклянная банка с притертой пробкой на 100 мл; штативы; треножки; горел-

ки; весы аналитические с набором гирь; безводная углекислая соль кальция; безводная углекислая соль натрия; соляная кислота; хлористый аммоний; азотная кислота; аммиак; уксусная кислота; щавелевый аммоний; углекислый кальций; фосфористый натрий; платиновохлористоводородная кислота; азотнокислое серебро; дистиллированная вода; беззольные фильтры; стеклянные палочки и крючок.

### **Методика определения химического состава золы торфа**

**Подготовка к анализу.** Необходимую для анализа золу (4–5 г) получают в больших фарфоровых тиглях путем озоления исследуемого торфа. Полученную золу растирают в агатовой ступке до крупности, которая обеспечивала бы прохождение всей золы без остатка через шелковое сито (900 отверстий на 1 см<sup>2</sup>). Подситовую фракцию помещают в стеклянную банку с притертой пробкой.

Для анализа золы берут навеску около 1,5 г, тщательно перемешивают ее в платиновом тигле с пятикратным количеством смеси безводных углекислых солей калия и натрия. Перемешивают золу стеклянной палочкой, которую затем тщательно вытирают беззольным фильтром, и этот фильтр кладут в тигель. Сверху смесь засыпают небольшим слоем углекислых солей. Первую стадию сплавления необходимо проводить с осторожностью ввиду вспучивания и возможного выбрасывания смеси из тигля. Поэтому тигель ставят в холодный муфель и лишь постепенно нагревают его до температуры 1273 °К. Когда смесь будет расплавлена и прекратится выделение пузырьков CO<sub>2</sub>, нагревание продолжают еще 10–20 мин., после чего сплавление заканчивают.

После этого тигель в горячем состоянии щипцами переносят в стакан с холодной дистиллированной водой и погружают на три четверти его высоты. При охлаждении сплав отстает от стенок тигля, а при опрокидывании легко выпадает из него. Сплав сразу кладут в фарфоровую чашку, а тигель и крышку обмывают над этой чашкой сначала горячей водой, а затем 10 %-ным раствором соляной кислоты, прибавляя последнюю до сильно кислой реакции. В полученном растворе часть кремниевой кислоты будет находиться в виде хлопьев.

**Определение содержания кремниевой кислоты.** Содержимое фарфоровой чашки выпаривают досуха на водяной бане. Получен-

ный в чашке остаток обрабатывают концентрированной соляной кислотой (10–15 мл, плотность 1190 кг/м<sup>3</sup>) и чашку снова ставят на баню для выпаривания. Так повторяют 2–3 раза, затем остаток просушивают в шкафу при температуре не выше 398–423 °К в течение 1 ч., после чего прибавляют к нему 100 мл однопроцентного раствора HCl. Кремниевая кислота, переведенная предыдущими операциями по выпариванию и обработке кислотой в нерастворимое состояние, оседает на дно чашки. Через 10–20 мин. после обработки соляной кислотой осадок процеживают и переносят на беззольный фильтр, где продолжают его промывать до получения в промывной воде отрицательной реакции на хлор. Отсутствие хлора проверяют прибавлением к промывной воде (подкисленной HNO<sub>3</sub>) азотнокислого серебра. Осадок с фильтром помещают в платиновый тигель, высушивают и прокаливают в муфельной печи до постоянной массы. Количество SiO<sub>2</sub>, которое при этом получается в тигле, в процентах относят к навеске золы

$$\text{SiO}_2 = \frac{\hat{a} \cdot 100}{\hat{a}} \%,$$

где  $\hat{a}$  – масса прокаленного остатка SiO<sub>2</sub>, г;  
 $a$  – масса навески золы, г.

**Определение содержания полуторных окислов и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.** Фильтрат от кремниевой кислоты переносят в мерную колбу емкостью 500 мл и доводят его дистиллированной водой точно до метки. Взяв из колбы в стакан 100 мл раствора, прибавляют к нему 10 мл насыщенного NH<sub>4</sub>Cl, две-три капли HNO<sub>3</sub> и возможно малый избыток NH<sub>4</sub>Cl до резкого запаха. После этого содержимое стакана кипятят до удаления излишка аммиака. Выпавший при нейтрализации HCl осадок содержит в себе сумму Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Осадок переносят на беззольный фильтр, промывают горячей водой до отрицательной реакции на хлор, высушивают, прокаливают в платиновом тигле вместе с фильтром при температуре 1273–1373 °К и по охлаждению в эксикаторе взвешивают. Фильтрат вместе с промывными водами оставляют для определения CaO. Полученную в тигле массу

полупроцентных окислов и  $P_2O_5$  умножают на 5 и в процентах относят к массе навески

$$R_2O_3 + P_2O_5 = \frac{\hat{a} \cdot 5 \cdot 100}{\hat{a}} \%,$$

где  $\hat{a}$  – масса осадка  $R_2O_3 + P_2O_5$ , г;

$a$  – масса навески золы, г.

**Определение содержания окислов кальция.** Фильтрат от полупроцентных окислов, слабо подкисленной уксусной кислотой, упаривают на водяной бане, нагревают до кипения и осаждают кипящим раствором щавелево-кислого аммония. После осаждения (через 4–12 часов) жидкость ставят на кипящую баню и через 4 часа декантируют ее через беззольный фильтр. Осадок промывают горячей водой до исчезновения реакции на хлор и вместе с фильтром переносят в платиновый тигель, высушивают на слабом пламени, осторожно озоляют и затем в течение 20 мин. прокаливают. Содержание  $CaO$  подсчитывают так же, как и содержание полупроцентных окислов.

**Определение содержания окиси магния.** Фильтрат от щавелевого кальция упаривают на водяной бане приблизительно до 150 мл, остужают, прибавляют к нему около 10 мл фосфорнокислого натрия, нагревают до кипения и подливают 10 %-ного аммиака в количестве, равном одной трети первоначального объема жидкости. Через 24 часа осадок фосфорнокислой аммонийно-магниевого соли  $Mg(NH_4)PO_4$  переносят на фильтр и промывают 2,5 %-ным аммиаком до полного удаления хлора и прокаливают в таком же порядке, какой был указан для определения  $CaO$ . При прокаливании магниевого соли переходит в пирофосфат магния  $Mg_2P_2O_7$ . Для подсчета  $MgO$  массу пирофосфата следует умножить на 0,3621 и полученную величину, умножив затем еще на 5, отнести в процентах к навеске золы

$$MgO = \frac{\hat{a} \cdot 5 \cdot 0,3621 \cdot 100}{\hat{a}} \%,$$



где  $v$  – масса осадка  $Mg_2P_2O_7$ , г;  
 $a$  – масса навески золы, г.

**Определение содержания окиси щелочных металлов.** Содержание окиси щелочных металлов  $K_2O+Na_2O$  обычно определяют по разности. Непосредственное определение содержания в золе K и Na проводится по следующей методике. Навеску золы в 1 г в агатовой ступке смешивают с таким же количеством хлористого аммония и растирают до тонкого порошка. Затем прибавляют 3 г углекислого кальция, снова растирают и переносят смесь в платиновый тигель. Чтобы очистить ступку и пестик от оставшихся там частиц золы, в нее помещают 1 г  $CaCO_3$ , растирают, а затем переносят в тот же тигель, куда заложена навеска. Тигель закрывают крышкой и нагревают его на небольшом пламени. По окончании выделения аммиака, что бывает минут через 20 после начала нагревания, смесь в течение 1 часа прокалывают на полном пламени горелки. После охлаждения спекшуюся массу при помощи горячей воды переносят в стакан, который затем нагревают, а твердые частицы массы во время нагревания раздавливают стеклянной палочкой.

Когда осадок превратится в порошок, жидкость декантируют через фильтр и промывают горячей водой. Осадок на фильтре испытывают на растворимость в соляной кислоте. Он должен раствориться, за исключением остатка, состоящего из чистой  $SiO_2$ .

Фильтрат нагревают до кипения, прибавляют к нему аммиак и осаждают раствором углекислого аммония. Образовавшийся осадок углекислого кальция фильтруют и промывают. Подставив под воронку стакан, в котором растворялась спекшаяся масса, осадок на фильтре растворяют в соляной кислоте и вновь осаждают углекислым аммонием в присутствии аммиака. Это делают для того, чтобы удалить из осадка оставшиеся там небольшие количества щелочи. После отфильтровывания  $CaCO_3$  и его промывки полученный фильтр прибавляют к основному и выпаривают его на водяной бане досуха, а затем просушивают в шкафу при 423 °К и ставят под слабое пламя горелки, чтобы удалить из осадка аммониевые соли. После охлаждения остаток смачивают  $HCl$ , растворяют в небольшом количестве воды, нейтрализуют аммиаком и снова осаждают следы кальция щавелевокислым аммонием. Через 12 часов осадок (щавеле-

левокислый кальций) отфильтровывают, фильтрат в тигле частями выпаривают досуха, остаток прокаливают, дают ему остыть и смачивают небольшим количеством  $HCl$ , чтобы разложить образовавшиеся карбонаты и превратить их в хлориды. После этого осадок снова выпаривают, прокаливают и взвешивают. Таким образом находят сумму хлоридов щелочных металлов. Растворив их в воде, определяют содержание в золе калия путем осаждения его раствором  $H_2PtCl_6$ . К выпаренному затем на водяной бане досуха остатку прибавляют несколько миллилитров спирта – ректификата, растирают остаток в тонкий порошок и фильтруют через смоченный алкоголем фильтр. Остаток на фильтре промывают алкоголем до тех пор, пока он не будет проходить через фильтр совершенно бесцветным. Осадок высушивают и взвешивают. Для подсчета содержания калия сначала переводят хлорплатинат в калий путем умножения полученной массы на 0,3056, а затем массу калия в процентах относят к навеске золы

$$K = \frac{\hat{a} \cdot 0,3056 \cdot 100}{\hat{a}} \%,$$

где  $\hat{a}$  – масса хлорплатината калия, г;

$a$  – масса навески золы, г.

После окончания анализов составляется сводная таблица химического состава золы торфа.

### Контрольные вопросы

1. Формы существования неорганических компонентов в торфе.
2. Методика определения химического состава золы торфа.

### Литература

1. Семенский, Е.П. Технический анализ торфа / Е.П. Семенский. – М.: Недра, 1966. – 232 с.
2. Физико-химические основы технологии торфяного производства / И.И. Лиштван [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1983. – 232 с.

## Лабораторная работа № 4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДА ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ ТОРФА

#### Общие сведения

Нагревая торф без допуска воздуха до температуры  $1073 \pm 25$  °К, из него выделяют (кроме паров воды) так называемые летучие вещества – газообразные продукты термического распада органической массы. В состав летучих веществ входят углеводороды, метан, окись и двуокись углерода, частично азот, содержащийся в торфе. Остаток после выхода летучих веществ называется коксом.

Выход летучих веществ торфа характеризуют выраженным в процентах отношением массы летучих веществ  $M_l$  к массе соответственно аналитической навески  $M$ , сухого вещества  $M_c$  и горючей массы  $M_e$ .

Выход летучих веществ на аналитическую навеску  $V_l^a$ , % подсчитывают по формуле

$$V_{\dot{e}}^{\dot{a}} = \frac{l_{\dot{e}}}{l} \cdot 100 = \frac{(l - l_{\dot{e}}) \cdot 100}{l} - W^{\dot{a}},$$

где  $M_k$  – масса кокса, г;

$W^{\dot{a}}$  – влажность аналитической пробы торфа, %.

Выход летучих на сухое вещество  $V_l^c$  и на горючую массу  $V_l^e$  подсчитывают по формуле

$$V_{\dot{e}}^c = \frac{l_{\dot{e}}}{l_c} \cdot 100 = \frac{l_{\dot{e}} \cdot 100}{l (100 - W^{\dot{a}})} \cdot 100 = \frac{V_{\dot{e}}^{\dot{a}} \cdot 100}{100 - W^{\dot{a}}} \%,$$

$$V_{\dot{e}}^{\bar{a}} = \frac{l_{\dot{e}}}{l_{\bar{a}}} \cdot 100 = \frac{l_{\dot{e}} \cdot 100}{l_{\bar{a}} (100 - A^{\bar{n}})} \cdot 100 = \frac{V_{\dot{e}}^{\dot{a}} \cdot 100}{100 - A^{\bar{n}}} \%,$$

где  $A^c$  – зольность торфа на сухое вещество, %.

Величина выхода летучих на горючее вещество  $V_l^e$  используется при рассмотрении термической прочности твердых горючих иско-

паемых (каустобиолитов). Так, в генетическом ряду углей (отмершие растения → торф → бурый уголь → каменный уголь → антрацит) наименьшую термическую прочность имеют растения-торфообразователи и торф ( $V_x^c$  до 85 %), а наибольшую – антрацит ( $V_x^c = 2-10$  %).

Для определения выхода летучих веществ торфа обычно применяют **метод единичных определений** с использованием тигельной печи или **метод массовых определений**, в котором используется муфельная печь. Определение выхода летучих веществ заключается в выдерживании аналитической навески торфа, помещенной в тигель с притертой крышкой, в течение 420 с в тигельной или муфельной печи, разогретой до температуры  $1073 \pm 25$  °К. Расхождение между параллельными навесками не должно превышать 0,5 %. Навеску торфа около 1 г перед испытанием спрессовывают на ручном лабораторном прессе в брикет.

**Цель данной работы** заключается в определении выхода летучих веществ торфа методом массовых определений.

**Аппаратура:** печь муфельная с подставкой для тиглей из жаропрочного материала; термомпара с гальванометром; фарфоровые глазурованные тигли с крышками (высота тиглей – 40–44 мм, верхний диаметр – 33–36 мм); пресс лабораторный; весы аналитические; эксикатор с осушающим реактивом; щипцы тигельные.

### **Порядок выполнения работы**

1. Тигель с притертой крышкой взвесить на аналитических весах с точностью до  $\pm 0,0002$  г. Его номер и массу записать в таблицу.
2. Специальным пробоотборником отобрать навеску торфа, засыпать ее в матрицу ручного пресса и спрессовать в брикетик.
3. Брикетик поместить в тигель с притертой крышкой и взвесить на аналитических весах.
4. Тигель в закрытом виде установить на подставку, быстро поместить в разогретую муфельную печь и включить секундомер.
5. Через 420 с тигель извлечь, в течение 300–480 с охладить на воздухе, а затем в эксикаторе и взвесить.

6. Рассчитать выход летучих веществ на аналитическую навеску, на сухое вещество и горючую массу. Результаты записать в табл. 4.1.

7. Оформить и защитить работу.

Таблица 4.1

Характеристика торфа (тип, вид \_\_\_\_\_, степень разложения \_\_\_\_\_, влажность \_\_\_\_\_, зольность \_\_\_\_\_)

№ тиг-лей	Масса тигля, г		Навеска торфа, г	Масса тигля с коксом, г	Масса кокса, г	$V_L^a$	$V_L^c$	$V_L^z$
	пустого	с торфом				%	%	%

### Контрольные вопросы

1. Летучие вещества торфа и их состав.
2. Что называется торфяным коксом?
3. Методы определения летучих веществ торфа.
4. Генетический ряд каустобиолитов.

### Литература

1. Семенский, Е.П. Технический анализ торфа / Е.П. Семенский. – М.: Недра, 1966. – 232 с.
2. Раковский, В.Е. Общая химическая технология торфа / В.Е. Раковский. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1949. – 363 с.

## Лабораторная работа № 5

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОТНОСТИ ТОРФА ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

#### Общие сведения

**Кислотность** – одна из важнейших характеристик торфа. Она играет большую роль при изучении природных особенностей торфа, его генезиса, является одним из факторов интенсивности микробиологической деятельности, роль которой в торфообразовательном процессе общеизвестна. По кислотности можно судить о степени насыщенности поглощающего комплекса торфа кальцием. Она более точно, чем ботаническая характеристика, может служить признаком типовой принадлежности торфа.

Под термином кислотность подразумевается реакция водной среды торфа, которая определяется активностью ионов водорода ( $H^+$ ) и численно равна отрицательному десятичному логарифму из активности  $H^+$ .  $pH = - \lg a_{H^+}$ .

При показателе  $pH < 7$  – реакция среды кислая, при  $pH = 7$  – нейтральная, а при  $pH > 7$  – щелочная.

В торфе различают **активную** и **потенциальную** кислотность.

**Активная кислотность** торфа характеризуется активностью водородных ионов в торфяном растворе или водной вытяжке из торфа и является следствием частичной диссоциации составляющих его компонентов. Другими словами – это кислотность торфа непосредственно в залежи, когда торф не подвергается никаким воздействиям.

**Потенциальная кислотность** измеряется количеством ионов водорода и алюминия, находящихся в поглощающем комплексе торфа в скрытом (поглощенном) состоянии. Потенциальная кислотность включает в себя **обменную** и **гидролитическую**.

Более подвижная часть ионов водорода и алюминия торфа, которая может быть переведена в раствор при обработке торфа избытком нейтральной соли хлористого калия, представляет собой обменную кислотность. Таким образом, кислотность в солевой хлоркалийевой вытяжке называется обменной кислотностью. Остальная,

менее подвижная часть ионов водорода и алюминия, переходящая в раствор при дальнейшей обработке торфа солями, дающими в водном растворе в результате гидролиза щелочную реакцию, называется гидролитической кислотностью.

Наибольшее практическое значение имеет обменная кислотность. Различные типы торфа характеризуются следующими значениями обменной кислотности: верховой 2,6–3,2; переходный 3,4–4,2; низинный 4,8–5,6.

Значения  $pH$  торфа измеряют в водной и солевой вытяжках. Водная вытяжка – это вода, отжатая из торфа. Для получения солевой вытяжки навеску сухого торфа массой 2–3 г помещают в фарфоровый тигель № 6 или стеклянный стакан емкостью 100 мл и заливают 1н раствором  $KCl$  с  $pH = 5,5–6,0$ . Количество жидкости (раствора) должно быть 2,5 объема по отношению ко взятому объему торфа (при получении водной вытяжки из сухого торфа необходимо взять такое же количество дистиллированной воды). Содержимое тигля или стакана перемешивают в течение 5 мин. до полного смачивания материала. Затем отжимают или отфильтровывают жидкость и определяют  $pH$  при помощи  $pH$ -метра.

**Цель данной работы** заключается в определении активной и обменной кислотности торфа электрометрическим методом.

Сущность электрометрического метода заключается в измерении электродвижущей силы в торфяной суспензии. Ее величина связана с активностью ионов водорода или с показателем кислотности  $pH$ .

**Аппаратура:**  $pH$ -метр; промывалка с дистиллированной водой; фильтровальная бумага; стакан емкостью 100 мл; 1н раствор  $KCl$  ( $pH = 5,5–6,0$ ); буферные растворы.

### Порядок выполнения работы

1. Подготовить  $pH$ -метр к измерениям (в соответствии с инструкцией по эксплуатации).
2. Получить солевую и водную вытяжки из низинного и верхового торфов. Для этого навеску сухого торфа массой 3 г тщательно

перемешать в течение 5 мин. с 75 мл раствора  $KCl$  или дистиллированной воды. Затем суспензию отжать или отфильтровать.

3. Провести измерения  $pH$  полученных проб с двукратной повторностью с точностью до 0,02  $pH$ . Окончательные результаты округлить до десятых долей.

4. Результаты анализа записать в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Тип, вид и степень разложения торфа	Вытяжка	Значение $pH$		
		первое определение	второе определение	среднее
	водная			
	солевая			

### Контрольные вопросы

1. Что такое  $pH$  торфа?
2. Активная, обменная и гидролитическая кислотность торфа.
3. Классификация торфов по кислотности.
4. Сущность электрометрического метода определения  $pH$ .

### Литература

1. Семенский, Е.П. Технический анализ торфа / Е.П. Семенский. – М.: Недра, 1966. –232 с.
2. Физико-химические основы технологии торфяного производства / И.И. Лиштван [и др.]. –Минск: Наука и техника, 1983. – 232 с.



## Лабораторная работа № 6

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ СУХОГО ВЕЩЕСТВА ТОРФА ПИКНОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

#### Общие сведения

Плотностью сухого вещества торфа  $\rho$  называется отношение массы сухого беспористого вещества к его объему

$$\rho = \frac{M_c}{V_c} \text{ кг/м}^3,$$

где  $M_c$  – масса сухого вещества торфа;

$V_c$  – объем сухого вещества торфа.

В объем сухого вещества торфа не входит объем пор, занятых водой или воздухом.

Значения плотности сухого вещества торфа необходимы для определения пористости торфа, скорости осаждения твердых частиц торфа в воде и пр.

Для определения плотности сухого вещества торфа применяют пикнометрический метод и метод высоких давлений на установке УВД.

**Целью данной работы** является определение плотности сухого вещества торфа пикнометрическим методом.

**Пикнометр** – это калиброванный стеклянный сосуд с узким горлышком емкостью 50 или 100 см<sup>3</sup>. Сущность пикнометрического метода заключается в определении объема сухого вещества торфа путем взвешиваний пикнометра с жидкостью с торфом и без торфа. Схема, поясняющая возможность расчета объема сухого беспористого вещества торфа по результатам взвешиваний пикнометра, представлена на рис. 6.1. На рисунке показан пикнометр с жидкостью, налитой до метки 1, состояние жидкости в пикнометре при введении в него сухого вещества торфа 2 и пикнометр с сухим ве-

ществом торфа и жидкостью, налитой до метки 3. Состояние 3 отличается от состояния 2 на величину массы вытесненной жидкости.

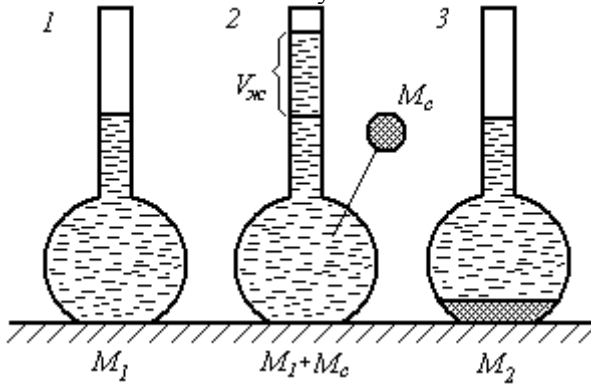


Рис. 6.1. Схема к расчету объема твердой фазы торфа пикнометрическим методом

Следовательно, масса вытесненной жидкости будет

$$M_{ж} = M_1 + M_c - M_2.$$

Зная плотность пикнометрической жидкости  $\rho_{ж}$ , найдем ее объем, равный объему сухого вещества торфа

$$V_{ж} = V_c = \frac{M_{ж}}{\rho_{ж}} = \frac{M_1 + M_c - M_2}{\rho_{ж}}.$$

Таким образом, плотность сухого вещества торфа можно рассчитать по формуле

$$\rho = \frac{M_c}{V_c} = \frac{M_c \cdot \rho_{ж}}{M_1 + M_c - M_2}.$$

Так как практически приходится работать не с абсолютно сухим торфом, а имеющим некоторую влажность  $W$ , то и формула для этого случая будет иметь вид

$$\rho = \frac{M \cdot (100 - W)}{100 \cdot \left( \frac{M_1 + M - M_2}{\rho_{\text{ж}}} - \frac{W}{100 \cdot \rho_{\hat{a}}} \right)},$$

где  $M$  – масса навески торфа в пикнометре;

$W$  – влажность навески торфа;

$\rho_{\hat{a}}$  – плотность воды при температуре опыта.

При определении плотности сухого вещества торфа пикнометрическим методом в качестве пикнометрической жидкости используют воду или неполярные жидкости: керосин, бензин, толуол и пр.

Применяя этот метод, следует иметь в виду, что плотность сухого вещества торфа зависит от размера молекул пикнометрической жидкости. С уменьшением размера молекул последней, плотность сухого вещества торфа возрастает. Объясняется это тем, что рыхлые по своей структуре частицы торфа имеют микропоры, в которые могут проникнуть не всякие молекулы жидкости.

Для проведения массовых определений плотности сухого вещества торфа наиболее пригодной пикнометрической жидкостью является керосин. В учебных целях обычно используют воду. Плотность воды  $\rho_{\hat{a}}$  при различной температуре  $t$  приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho_{\hat{a}}, \text{г/см}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho_{\hat{a}}, \text{г/см}^3$
15,0	0,9991	20,0	0,9982
15,5	0,9990	20,5	0,9981
16,0	0,9990	21,0	0,9980
16,5	0,9989	21,5	0,9979
17,0	0,9988	22,0	0,9978
17,5	0,9987	22,5	0,9977
18,0	0,9986	23,0	0,9976
18,5	0,9985	23,5	0,9974

19,0	0,9984	24,0	0,9973
19,5	0,9983	24,5	0,9973

При определении плотности сухого вещества торфа важной вспомогательной операцией является удаление из него воздуха. Для этой цели может применяться кипячение пикнометров с торфом и жидкостью на водяной бане, вакуумирование или виброобработка.

**Аппаратура:** пикнометр емкостью 50 или 100 см<sup>3</sup>; весы аналитические с разновесами; водяная баня; термометр; промывалка; капельница; стакан на 100 см<sup>3</sup>; бутылка с дистиллированной водой; полотенце, фильтровальная бумага; воронка.

### Порядок выполнения работы

1. Взвесить два пустых пикнометра на аналитических весах (все взвешивания производить с точностью до  $\pm 0,0002$  г).

2. Отобрать из лабораторной пробы торфа две навески массой по 8–10 г при объеме пикнометров 100 см<sup>3</sup> или 4–5 г при объеме пикнометров 50 см<sup>3</sup> и, пользуясь стеклянной воронкой, засыпать их в пикнометры, а затем взвесить.

3. Одновременно отобрать навески торфа массой 5–10 г и определить их влажность ускоренным методом.

4. Залить пикнометры с торфом дистиллированной водой до 1 / 2 их объема. При заливке смыть со стенок пикнометра прилипшие частицы торфа.

5. Поместить пикнометры в водяную баню и кипятить в течение 20–30 минут для удаления из торфа воздуха. Воздух считается удаленным тогда, когда частицы торфа в пикнометре осядут на дно, а вода в верхней части станет достаточно прозрачной.

6. После удаления воздуха пикнометры охладить до комнатной температуры, долить дистиллированной водой (тоже комнатной температуры) до метки на горлышке и взвесить.

7. Вылить содержимое пикнометров, вымыть их, затем налить до метки дистиллированной водой комнатной температуры и взвесить.

8. Рассчитать плотность сухого вещества торфа и результаты анализа записать в табл. 6.2. Допустимое расхождение в параллельных определениях  $\rho$  составляет  $\pm 0,02 \text{ г/см}^3$ .

Таблица 6.2

№ пикнометров	Масса пустого пикнометра, г	Масса пикнометра с торфом, г	Масса навески торфа, г	Масса пикнометра с торфом и водой, г	Масса пикнометра с водой, г	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho$ ср., кг/м <sup>3</sup>

### Контрольные вопросы

1. Плотность сухого вещества торфа и методы ее определения.
2. Сущность пикнометрического метода определения плотности сухого вещества торфа.
3. Вывод формулы для расчета плотности сухого вещества торфа.

### Литература

1. Физико-химические основы технологии торфяного производства / И.И. Лиштван [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1983. – 232 с.
2. Прочность и деформируемость торфяных грунтов / Л.С. Амаян. – М.: Недра, 1969. – 191 с.

## Лабораторная работа № 7

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОРФА

#### Общие сведения

**Плотность торфа**  $\gamma$  – это отношение массы торфа к его объему

$$\gamma = \frac{M}{V} \text{ кг/м}^3,$$

где  $M$  – масса торфа, кг;

$V$  – объем торфа, м<sup>3</sup>.

Масса торфа состоит из массы сухого вещества  $M_c$  и массы воды  $M_w$ , а объем торфа включает в себя объем сухого вещества  $V_c$ , объем воды  $V_w$  и объем воздуха (газа)  $V_a$ . Таким образом, структурная формула плотности торфа будет иметь вид

$$\gamma = \frac{M_c + M_w}{V_c + V_w + V_a}.$$

Плотность торфа – важный показатель качественной характеристики торфа и торфяной продукции. Он входит в основные технологические расчеты, связанные с определением запасов торфа, цикловых сборов, производительности машин и т.п. Во всех случаях торф находится в различных состояниях, в зависимости от которых пользуются различными методами определения его плотности.

Почти все методы определения плотности торфа и получаемой из него продукции отличаются между собой лишь приемами определения объема. Так, для торфа в залежи применяется метод режущего кольца: для переработанного торфа-сырца – метод мерного

цилиндра; для кускового торфа – метод волюменометра; для мелко-кусового торфа – метод гидростатического взвешивания; для фрезерного торфа – несколько видоизмененный метод мерного цилиндра (при помощи пурки).

Для определения насыпной плотности фрезерного торфа в навалах и валках используется метод мерных ящиков, заключающийся в многократном наполнении мерного ящика фрезерным торфом с последующим взвешиванием.

Расчет производится по формуле

$$\gamma = \frac{\sum M_i}{V \cdot n},$$

где  $\sum M_i$  – сумма массы торфа при единичных определениях:

$V$  – объем мерного ящика;

$n$  – число определений.

Для определения плотности фрезерного торфа в штабелях используется метод радиобуров, принцип которого заключается в регистрации интенсивности рассеянного гамма-излучения, пропорциональной плотности вещества.

**Целью работы** является определение плотности кускового торфа при помощи волюменометра и насыпной плотности фрезерного торфа методом мерного цилиндра.

### **Определение плотности кускового торфа при помощи волюменометра**

**Волюменометр** – это прибор, состоящий из цилиндрического сосуда с сообщающейся стеклянной трубкой, снабженной шкалой, и металлической сетки, в которой образец торфа опускается в волюменометр, заполненный на 1/3 его высоты керосином.

Если до погружения образца отсчет по шкале волюменометра будет  $\delta_1$ , а после погружения –  $\delta_2$ , то его объем можно найти по формуле

$$V = (\delta_2 - \delta_1) \cdot E,$$

где  $K$  – цена деления шкалы волюменометра,  $\text{см}^3/\text{дел.}$  (т.е. объем, приходящийся на одно деление).

**Аппаратура:** волюменометр; весы; бутылка с керосином.

### Порядок выполнения работы

1. Образцы торфа взвесить по отдельности с точностью до 1 г и поместить в керосин для пропитки (до прекращения выделения пузырьков воздуха).

2. Определить объем образца при помощи волюменометра, для чего погрузить сетку в керосин и взять отсчет по шкале. Затем в поднятую сетку поместить образец, вновь погрузить в керосин и взять второй отсчет. По разности отсчетов уровней керосина в волюменометре рассчитать объем образца торфа.

3. Рассчитать плотность торфа.

4. Результаты опыта записать в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Характеристика образца торфа (тип, вид, степень разложения, влажность). Цена деления шкалы волюменометра  $K = \underline{\hspace{2cm}}$ .

№ образцов	Масса образца до пропитки $M$ , г	$\delta_1$	$\delta_2$	$V$ , $\text{см}^3$	$\gamma$ , $\text{г}/\text{см}^3$	$\gamma_{\text{н.д.}}$ , $\text{кг}/\text{м}^3$

### Определение насыпной плотности фрезерного торфа методом мерного цилиндра

Насыпная плотность фрезерного торфа определяется при помощи прибора, называемого пуркой. Пурка состоит из трех цилиндров, которые в рабочем состоянии устанавливаются один на другой. Верхний цилиндр (загрузочный) служит для загрузки исследуемого торфа. При помощи среднего цилиндра (наполнителя) заполняют торфом нижний цилиндр известного объема, который



называется меркой. Трехступенчатая система обеспечивает стандартное заполнение мерного цилиндра.

**Аппаратура:** пурка; весы; совок, щетка.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством прибора и собрать его.
2. Закрыв заслонку загрузочного цилиндра, заполнить его фрезерным торфом (на 2 см ниже его верхнего края) и установить на цилиндр-наполнитель.
3. Открыть заслонку, чтобы фрезерный торф поступил в цилиндр-наполнитель.
4. Извлечь из мерки нож. Торф вместе с падающим дном перемещается в мерку. Вставить торф в прорезь мерки, отделив тем самым излишек торфа. Порожний загрузочный цилиндр снять.
5. Удалить излишек торфа с ножа опрокидыванием мерки с наполнителем. Наполнитель убрать, а мерку взвесить с точностью до 1 г.
6. Повторить определение три раза с тем же торфом.
7. Результаты опытов записать в табл. 7.2, рассчитать среднее значение массы торфа, а затем насыпную плотность торфа.

Таблица 7.2

Характеристика торфа (тип, вид, степень разложения  $R =$  %, влажность  $W =$  %)

Объем мерного цилиндра $V$ , см <sup>3</sup>	Масса фрезерного торфа, г				Насыпная плотность торфа, кг/м <sup>3</sup>
	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_{cp}$	

### Контрольные вопросы

1. Что называется плотностью торфа?
2. Методы определения плотности кусковой торфяной продукции.
3. Методы определения насыпной плотности фрезерного торфа.

### Литература

1. Семенский, Е.П. Технический анализ торфа / Е.П. Семенский. – М.: Недра, 1966. –232 с.

2. Физико-химические основы технологии торфяного производства / И.И. Лиштван [и др.]. –Минск: Наука и техника, 1983. – 232 с.

### **Лабораторная работа № 8**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ МЕЛКОКУСКОВОГО ТОРФА И ТОРФЯНЫХ БРИКЕТОВ**

### **Общие сведения**

**Прочность** – это свойство тел сопротивляться разрушению. Прочность тел характеризуют напряжениями, возникающими в материале в момент разрушения.

Прочность является одной из важнейших характеристик качества торфяной продукции, зависящей от содержания сухого вещества в единице объема и энергии связи между частицами. В естественном состоянии ответственным за прочность торфа является растительный каркас. При разрушении растительного каркаса в результате переработки торфа или с ростом степени разложения прочность определяется, в основном, силами, действующими между частицами.

Основными силами, ответственными за прочность торфа, являются капиллярные, межмолекулярные и водородная связи. Энергия капиллярных сил невелика и равна примерно 0,419 кДж/моль, энергия межмолекулярных сил или сил Ван-дер-Ваальса – 4,19 кДж/моль, энергия водородной связи – 16,76–29,33 кДж/моль.

Механизм формирования прочной структуры готовой продукции весьма сложен, так как на прочность оказывает влияние не только физико-химическая природа торфа (степень разложения, содержание гуминовых веществ, тип их надмолекулярных структур и др.), но и технологические факторы (интенсивность переработки, режим сушки и др.).

При испарении влаги из куска торфа под действием капиллярных сил происходит его усадка, что приводит к увеличению содержания сухого вещества в единице объема, а следовательно, и числа межмолекулярных и водородных связей и, в конечном счете, к ро-

сту прочности торфа. Наибольшая прочность торфа получается при достижении им влажности, соответствующей содержанию моносорбированной влаги.

Для торфа характерны следующие виды испытаний на прочность: прочность на сжатие; прочность на изгиб; ударная прочность (крошимость). Выбор типа испытания на прочность определяется тем, какие силы в реальных условиях вызывают разрушение материала.

**Целью данной работы** является определение прочности мелкокускового торфа и брикетов на сжатие и изгиб.

**Аппаратура:** ручной гидравлический пресс; штангенциркуль; ножовка, нож.

### Определение прочности торфа на сжатие

Для определения прочности на сжатие берут кубические или цилиндрические образцы торфа. Последние должны иметь отношение высоты к диаметру не ниже 1:1.

Образец устанавливают на плиту гидравлического пресса (рис. 8.1) и определяют показание манометра в момент разрушения образца.

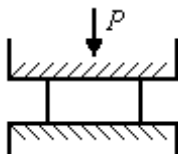


Рис. 8.1. Схема установки образца торфа для определения прочности на сжатие

Прочность образца торфа на сжатие рассчитывается по формуле

$$\delta_{сж} = \frac{P}{F} \text{ Па,}$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка;

$F$  – площадь поперечного сечения.

### Порядок выполнения работы

1. Вырезать образец кубической или цилиндрической формы и определить его размеры при помощи штангенциркуля.
2. Установить образец на плиту пресса. Подавая масло в цилиндр пресса, зафиксировать по манометру давление в момент разрушения образца. Рассчитать разрушающую нагрузку путем умножения показания манометра на площадь поршня пресса.
3. Рассчитать прочность на сжатие.
4. Результаты испытаний записать в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Площадь поршня пресса \_\_\_\_\_

№ образца	Размеры образца			Показания манометра пресса, кгс/см <sup>2</sup>	Разрушающая нагрузка, кгс	Прочность на сжатие, Па	Примечание
	высота, м	диаметр, м	площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>				

### Определение прочности торфа на изгиб

Образец торфа в виде прямоугольного бруса устанавливают в гидравлический пресс (рис. 8.2) и определяют разрушающую нагрузку.

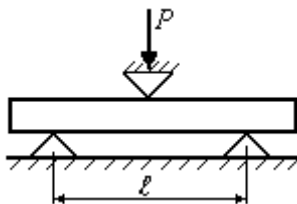


Рис. 8.2. Схема установки образца торфа для определения прочности на изгиб

При этом различают два положения образца: плашмя и на ребро.

Прочность торфа на изгиб при положении образца плашмя рассчитывают по формуле

$$\delta_{\text{эсá}} = 1,5 \cdot \frac{P \cdot \ell}{b \cdot h^2} \text{ Па,}$$

а при положении на ребро – по формуле

$$\delta_{\text{эсá}} = 1,5 \cdot \frac{P \cdot \ell}{b^2 \cdot h} \text{ Па,}$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка;

$\ell$  – расстояние между опорами (принимается равным 0,7 длины образца);

$b, h$  – соответственно ширина и высота образца.

### Порядок выполнения работы

1. Вырезать образец в виде бруса, причем длина должна быть в три раза больше его высоты. Измерить размеры образца.

2. На нижней плите пресса установить две опоры симметрично оси пресса на расстоянии между ними, равном двойной высоте образца, и на них положить образец. На середину образца установить третью опору, располагая ее строго параллельно нижним опорам.

3. По показанию манометра пресса в момент разрушения образца и площади поршня пресса рассчитать разрушающую нагрузку.

4. Рассчитать прочность на изгиб.

5. Результаты испытаний записать в табл. 8.2.

Таблица 8.2

№ образца	Размеры образца, м		Расстояние между опорами, м	Показания манометра пресса, кгс/см <sup>2</sup>	Разрушающая нагрузка, кгс	Прочность на изгиб, Па	Приемчание
	ширина	высота					

### Контрольные вопросы

1. Какие силы ответственны за прочность торфа?

2. Какие факторы влияют на прочность торфа?
3. Методы определения прочности торфа.

### Литература

1. Семенский, Е.П. Технический анализ торфа / Е.П. Семенский. – М.: Недра, 1966. –232 с.

### Лабораторная работа № 9

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ВЛАГОПОГЛОЩЕНИЯ ТОРФА

### Общие сведения

**Влагопоглощаемостью** называется способность торфа впитывать и удерживать в себе влагу. На отдельных стадиях торфяного производства, в процессе хранения готовой продукции, при непосредственном использовании некоторых ее видов происходит взаимодействие торфяного вещества с водой.

Количественно влагонасыщенность характеризуется выраженным в процентах отношением массы поглощенной торфом за определенный промежуток времени влаги к первоначальной массе торфа

$$B_{\tau} = \frac{M_{\tau} - M_f}{M_f} \cdot 100 \% ,$$

где  $M_{\tau}$  – масса торфа к моменту времени  $\tau$  ;

$M_f$  – начальная масса торфа.

Так как показатель  $B_{\tau}$  не дает представления об изменении в процессе поглощения влаги влагосодержания торфа, то последнее рассчитывают по формуле

$$U_{\tau} = U_f + \frac{A_{\tau}}{100 - W_f} \text{ кг/кг,}$$

где  $W_f$  и  $U_f$  – соответственно начальная влажность и влагосодержание торфа.

$$U_f = \frac{W_f}{100 - W_f} \text{ кг/кг.}$$

При рассмотрении процесса поглощения влаги торфом наибольший интерес представляет кинетика водопоглощения, т.е. зависимость  $B = f(\tau)$  (рис. 9.1), дающая возможность проследить за количеством влаги, поглощенной торфом за определенный отрезок времени, а также определить максимальное количество поглощенной влаги.

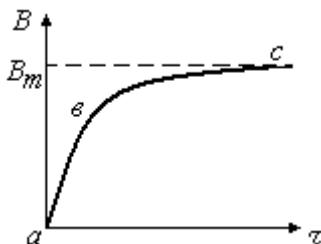


Рис. 9.1. Кинетика поглощения влаги торфом

Механизм поглощения влаги торфом отличается большой сложностью, что связано прежде всего с крайне неоднородной его структурой. С одной стороны, происходит поглощение влаги растительными остатками – дисперсиями высокополимеров целлюлозной природы, а с другой – продуктами распада – гуминовыми веществами и их солями. Оба явления на начальной стадии процесса сочетаются с третьим – заполнением влагой ячеек порового пространства. Влагопоглощение сухого торфа связано с предварительной сорбцией молекул воды на активных центрах и интенсивным впитыванием влаги за счет капиллярных явлений. Таким образом, в процессе поглощения влаги торфом можно выделить две стадии. На первой, сорбционно-капиллярной стадии ( $a$   $v$ ), происходит гидратация активных центров и капиллярное впитывание влаги, а на второй

(в с) – поглощение влаги растительными остатками и продуктами распада.

Наиболее интенсивно происходит поглощение влаги торфом на первой стадии. Процесс поглощения влаги растительными остатками и продуктами распада торфа происходит со значительной меньшей скоростью.

Скорость влагопоглощения подчиняется уравнению

$$\frac{dB}{d\tau} = K(B_m - B_\tau),$$

где  $K$  – константа влагопоглощения;

$B_m$  – максимальное влагопоглощение.

Константа  $K$ , характеризующая скорость поглощения влаги торфом, получается после интегрирования уравнения, приведенного выше

$$K = \frac{1}{\tau} \ln \frac{B_m}{B_m - B_\tau}.$$

Перейдя к десятичному логарифму, будем иметь

$$\lg \frac{B_m}{B_m - B_\tau} = \frac{K}{2,3} \cdot \tau,$$

откуда следует, что константа влагопоглощения

$$K = \operatorname{tg} \alpha \cdot 2,3,$$

где  $\alpha$  – угол наклона прямой  $\lg \frac{B_m}{B_m - B_\tau} = f(\tau)$  к оси абсцисс.

Для определения констант влагопоглощения обычно строят график (рис. 9.2), откладывая по оси абсцисс  $\tau$ , а по оси ординат –

$$\lg \frac{B_m}{B_m - B_\tau}.$$



Для систем с однородной структурой получается одно значение  $K$ . Для торфа зависимость  $\lg \frac{B_m}{B_m - B_\tau} = f(\tau)$  имеет изгиб, что свидетельствует о двух стадиях влагопоглощения, характеризующихся различными значениями  $K$  (рис. 9.2.).

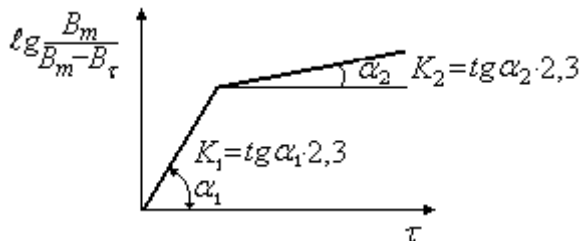


Рис. 9.2. Схема определения констант влагопоглощения торфа

Определение влагопоглощаемости торфяной продукции состоит в погружении воздушно-сухих образцов в воду на 48 часов и фиксации изменения их массы. Образцы кускового торфа помещают в предварительно смоченные и взвешенные капроновые или металлические цилиндры с сетчатым дном и крышкой, а фрезерного торфа — в марлевые мешочки. Цилиндры с торфом осторожно погружают в сосуд с водой. При этом необходимо следить, чтобы при погружении цилиндров из них вышел воздух (на что указывает прекращение выделения пузырьков). Для улучшения проникновения воды в цилиндры на дно сосуда следует положить решетку. Слой воды над цилиндрами должен быть около 5 см. Момент погружения отмечают как начало анализа. После пребывания определенного времени в воде цилиндры с торфом вынимают, ставят наклонно на решетку подноса (рис. 9.3) и выдерживают, периодически поворачивая, до прекращения стекания воды.

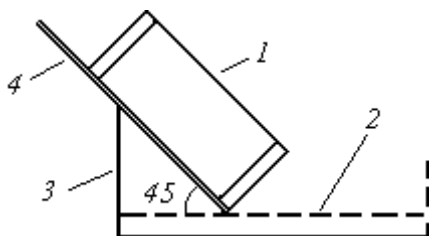


Рис. 9.3. Установка цилиндра в поднос для стекания воды:  
1 – цилиндр; 2 – решетка; 3 – поднос; 4 – подставка

Для предотвращения испарения влаги из торфа при отстаивании цилиндры необходимо накрывать влажной марлей (или более плотной материей). Когда вода из цилиндров перестанет стекать даже при их осторожном покачивании (встряхивание недопустимо), сетки дна и крышек вытирают полотенцем и определяют массу цилиндров. Рассчитывают влагопоглощаемость торфа. Расхождение в результатах параллельных определений не должно превышать 5 %.

**Целью данной работы** является исследование кинетики влагопоглощения кускового торфа.

**Аппаратура:** сосуд с водой для погружения цилиндров с торфом; капроновые или металлические цилиндры; весы; поднос для стекания воды из цилиндров; аппаратура для определения влажности торфа ускоренным методом.

### Порядок выполнения работы

1. Опустить пустой цилиндр в воду на 60–120 с. Затем извлечь его, поставить наклонно на решетку подноса и выдержать до прекращения стекания воды.

2. Образец торфа определенной массы и влажности поместить в цилиндр, закрыть крышку и определить их общую массу (с точностью до 0,01 г), а по разности и массу самого продукта.

3. Погрузить цилиндр с образцом торфа в сосуд с водой на 60 с. Извлечь, дать стечь воде и определить массу. По формулам рассчитать влагопоглощаемость  $B$  и влагосодержание  $U$  за это время.

4. В такой же последовательности определить  $B$  и  $U$  через 120, 300, 600, 1200, 3000 и 3600 секунд от начала опыта. Результаты записать в табл. 9.1.

5. По полученным данным на миллиметровке построить графики  $B(\tau)$ ,  $U(\tau)$  и  $\lg \frac{B_m}{B_m - B_\tau} = f(\tau)$ . Используя график, рассчитать константы влагопоглощения на первой и второй стадиях.

Таблица 9.1

Торф (тип, вид \_\_\_\_\_, степень разложения  $R =$  \_\_\_\_\_%, влажность  $W =$  \_\_\_\_\_%)

Время от начала опыта, с	Масса цилиндра с образцом торфа, г	Масса образца торфа, г	$B_\tau$ , %	$U$ , кг/кг	$\frac{B_m}{B_m - B_\tau}$	$\lg \frac{B_m}{B_m - B_\tau}$
1	2	3	4	5	6	7
60						
120						
300						
600						
1200						
1800						
2400						
3000						
3600						

### Контрольные вопросы

1. Что называется влагопоглощаемостью торфа и как она количественно выражается?
2. Каков механизм поглощения воды торфом?
3. Как определить константы влагопоглощения торфа?

## Литература

1. Семенский, Е.П. Технический анализ торфа / Е.П. Семенский. – М.: Недра, 1966. – 232 с.
2. Физико-химические основы технологии торфяного производства / И.И. Лиштван [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1983. – 232 с.

## Лабораторная работа № 10

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СВЯЗАННОЙ ВОДЫ В ТОРФЕ МЕТОДОМ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ АДСОРБЦИИ ИНДИКАТОРА (САХАРА)

#### Общие сведения

В торфе часть воды находится в свободном состоянии, а часть связана с твердым веществом. По современной классификации форм связи воды в торфе, разработанной М.П. Воларовичем и Н.В. Чураевым на базе энергетической классификации воды в дисперсных материалах акад. П.А. Ребиндера, различают:

- химически связанную воду;
- физико-химически связанную воду;
- энтропийно связанную или осмотическую воду;
- воду механического удерживания.

**Химически связанная вода** –  $W_x$  представлена молекулами воды кристаллогидратов торфа, входящих в состав минералов торфа. В торфе  $W_x$  удерживается химическими силами и не удаляется в процессе сушки даже при 105–110 °С. Энергия ее связи с сухим веществом торфа составляет 41,9–419 кДж/моль.

**Физико-химически связанная вода** –  $W_{ф.х}$  представлена сорбированными молекулами воды на активных центрах твердого вещества торфа. В ее состав входит вода моносорбции  $W_m$  и вода полисорбции  $W_n$ , т.е.  $W_{ф.х} = W_m + W_n$ . Энергия связи этой категории воды колеблется от 20 до 67 кДж/моль. Физико-химически связан-

ная вода практически не удаляется из торфа в процессе естественной сушки.

**Энтропийно-связанная или осмотическая вода** –  $W_{осм}$  в торфе удерживается осмотическими силами. Энергия ее связи доходит до 2,0 кДж/моль.

**Вода механического удерживания** –  $W_{мех}$ . В торфе она состоит из: капиллярной воды  $W_{кап}$ ; иммобилизованной воды  $W_{имм}$ , находящейся внутри агрегатов торфа, не являющихся осмотическими ячейками; внутриклеточной воды  $W_{внк}$ ; структурно-захваченной воды  $W_{стр}$ , находящейся в тупиковых и замкнутых порах, т.е.

$$W_{мех} = W_{кап} + W_{имм} + W_{внк} + W_{стр}.$$

При сушке в первую очередь удаляется вода крупных капилляров, затем структурно-захваченная, иммобилизованная, внутриклеточная и осмотическая.

Определение содержания связанной воды в торфе методом отрицательной адсорбции сахара, разработанного А.В. Думанским, основано на том, что связанная вода является плохим растворителем по сравнению со свободной водой. Измеряя объем воды, не растворяющей введенный в систему индикатор (сахар), принимают его равным количеству связанной воды. Использование сахара в качестве индикатора обусловлено его инертностью по отношению к дисперсной фазе коллоидных систем. Измеряемые количества связанной воды уменьшаются с ростом начальной концентрации сахара, что связано с проникновением молекул растворенного вещества в связанную воду при повышении концентрации индикатора. При начальной концентрации сахара больше 12,5 % измеряемое количество связанной воды остается практически постоянным. Его и принимают равным количеству физико-химически связанной воды в исследуемом образце торфа.

Для определения количества связанной воды методом отрицательной адсорбции сахара берут навеску торфа  $M$  с влажностью  $W$ . К навеске торфа прибавляют  $M_{с.р.}$  раствора сахара точно установленной концентрации  $C_1$  и хорошо перемешивают полученную суспензию для равномерного распределения индикатора во всем растворяющем объеме. Затем суспензию фильтруют и определяют равновесную концентрацию сахара в фильтрате  $C_2$ . Так как количе-

ство сахара, внесенного в систему, остается постоянным (при условии, что он не вступает в химические реакции с дисперсной фазой), можно записать выражение:

$$M_{c.p.} \frac{C_1}{100} = \left( \frac{M \cdot W}{100} + \frac{100 - C}{100} \cdot M_{c.p.} - M_{c.\hat{a}} \right) \cdot \frac{N_2}{100 - N_2},$$

где  $M_{c.v.}$  – количество связанной воды в образце торфа.

Из этого равенства можно определить количество связанной воды:

$$M_{c.\hat{a}} = \frac{l \cdot W}{100} + M_{c.p.} \frac{C_2 - C_1}{C_2},$$

где первый член соответствует общему содержанию воды в образце торфа, а второй – содержанию воды, растворяющей сахар.

Процентное содержание связанной воды в торфе будет:

$$W_{c.\hat{a}} = \frac{M_{c.\hat{a}}}{l \cdot \hat{n}} \cdot 100 \%,$$

где  $\hat{l} \cdot \hat{n} = \frac{l \cdot (100 - W)}{100}$  – содержание сухого вещества в образце торфа.

Концентрация сахара определяется обычно путем измерения показателя преломления раствора при помощи специального прибора-рефрактометра с использованием табл. 10.1.

Таблица 10.1  
Определение содержания сахара  $C$  в растворе по  
показателю преломления  $n$  при  $t = 20^\circ\text{C}$

$n$	$C, \%$	$n$	$C, \%$	$n$	$C, \%$
1	2	3	4	5	6
1,3330	0,0	1,3350	1,4	1,3371	2,8
1	0,1	1	1,5	3	2,9
3	0,2	3	1,6	4	3,0

4	0,3	5	1,7	5	3,1
6	0,4	6	1,8	7	3,2
7	0,5	7	1,9	8	3,3
8	0,6	9	2,0	1,3380	3,4
1,3340	0,7	1,3361	2,1	1	3,5
1	0,8	2	2,2	2	3,6
2	0,9	3	2,3	4	3,7
4	1,0	5	2,4	5	3,8
5	1,1	7	2,5	7	3,9
7	1,2	8	2,6	8	4,0
8	1,3	9	2,7	9	4,1

Продолжение табл. 10.1

1	2	3	4	5	6
1,3391	4,2	7	7,9	4	11,6
3	4,3	8	8,0	5	11,7
4	4,4	1,3450	8,1	7	11,8
5	4,5	1	8,2	8	11,9
7	4,6	3	8,3	1,3510	12,0
9	4,7	4	8,4	2	12,1
1,3400	4,8	6	8,5	3	12,2
1	4,9	8	8,6	5	12,3
3	5,0	9	8,7	6	12,4
5	5,1	1,3461	8,8	8	12,5
6	5,2	2	8,9	1,3520	12,6
7	5,3	4	9,0	1	12,7
9	5,4	5	9,1	3	12,8
1,3411	5,5	7	9,2	4	12,9
2	5,6	9	9,3	6	13,0
3	5,7	1,3470	9,4	7	13,1
5	5,8	1	9,5	9	13,2
7	5,9	3	9,6	1,3531	13,3
8	6,0	5	9,7	2	13,4
9	6,1	6	9,8	3	13,5
1,3421	6,2	7	9,9	5	13,6
3	6,3	9	10,0	7	13,7
4	6,4	1,3481	10,1	8	13,8
5	6,5	2	10,2	9	13,9
7	6,6	3	10,3	1,3541	14,0

9	6,7	5	10,4	3	14,1
1,3430	6,8	7	10,5	4	14,2
1	6,9	8	10,6	6	14,3
3	7,0	9	10,7	7	14,4
5	7,1	1,3491	10,8	9	14,5
6	7,2	3	10,9	1,3551	14,6
7	7,3	4	11,0	2	14,7
9	7,4	6	11,1	4	14,8
1,3441	7,5	7	11,2	5	14,9
2	7,6	9	11,3	7	15,0
3	7,7	1,3500	11,4	9	15,1
5	7,8	2	11,5	1,3560	15,2

Окончание табл. 10.1

1	2	3	4	5	6
2	15,3	8	16,9	4	18,5
3	15,4	1,3590	17,0	6	18,6
5	15,5	2	17,1	7	18,7
7	15,6	3	17,2	9	18,8
8	15,7	5	17,3	1,3620	18,9
1,3570	15,8	6	17,4	2	19,0
1	15,9	8	17,5	4	19,1
3	16,0	1,3600	17,6	5	19,2
5	16,1	1	17,7	7	19,3
6	16,2	3	17,8	9	19,4
8	16,3	4	17,9	1,3631	19,5
1,3580	16,4	6	18,0	2	19,6
2	16,5	8	18,1	4	19,7
3	16,6	9	18,2	6	19,8
5	16,7	1,3611	18,3	7	19,9
7	16,8	2	18,4	9	20,0

**Целью данной работы** является освоение метода отрицательной адсорбции сахара для определения содержания связанной воды в торфе.

**Аппаратура:** рефрактометр; химический стакан; стеклянная палочка; пипетка; весы; воронка, фильтровальная бумага; аппаратура для определения влажности торфа.



## Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с инструкцией и проверить работу рефрактометра, измерив показатель преломления чистой воды. При этом показание рефрактометра должно быть равно  $n = 1,3330$ .

2. Измерить начальную концентрацию сахарного раствора  $C_1$  с помощью рефрактометра.

3. Взять навеску торфа массой  $M = 7-10$  г с относительной влажностью  $W$  (влажность определить ускоренным методом) и поместить в химический стакан. Массу навески определить взвешиванием на технических весах с точностью до  $0,01$  г.

4. К навеске торфа прилить  $M_{c.p.} = 8-10$  г сахарного раствора и тщательно перемешать его с торфом. Через 3–5 мин. поместить содержимое стакана в воронку на бумажный фильтр. Первые капли, если они содержат взвеси, отбросить. Из фильтрата отобрать среднюю пробу и измерить равновесную концентрацию  $C_2$  с помощью рефрактометра.

5. Рассчитать количество связанной воды в торфе  $M_{c.в.}$ . Полученное значение  $M_{c.в.}$  перевести в процентное содержание связанной воды в торфе (в процентах на сухое вещество).

6. Результаты опыта занести в табл. 10.2.

Таблица 10.2

Торф (тип, вид \_\_\_\_\_, степень разложения  $R =$  \_\_\_\_\_%, относительная влажность  $W =$  \_\_\_\_\_%)

№	Начальная концентрация сахарного раствора $C_1$ , %	Навеска торфа $M$ , г	Кол-во сахарного раствора $M_{c.p.}$ , г	Равноценная концентрация $C_2$ , %	Содержание связанной воды в торфе	
					$M_{c.p.}$ , г по формуле	$W_{c.в.}$ , %
1						
2						
3						

Среднее значение  $C_1 =$  \_\_\_\_\_%, среднее значение  $C_2 =$  \_\_\_\_\_%.

### Контрольные вопросы

1. Какие формы связи влаги можно выделить в торфе?
2. В чем сущность метода определения связанной воды в торфе методом отрицательной адсорбции сахара?
3. Как влияет величина начальной концентрации сахара на измеряемое количество связанной воды в торфе?

### Литература

1. Физика и химия торфа: учеб. пособие для вузов / И.И. Лиштван [и др.]. –М.: Недра, 1989. – 304 с.

## Лабораторная работа № 11

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ТОРФА ПРИ ПОМОЩИ СОКРАЩЕННОГО АНАЛИЗА

#### Общие сведения

Как правило, торф является многофазной системой, состоящей из твердого вещества, воды и воздуха. Твердое вещество представлено частицами всевозможного размера и поэтому является **полидисперсной** системой. Кроме того, частицы имеют непостоянный химический состав, зависящий от размеров. **Максимальный размер частицы торфа условно принят 7 мм**, а минимальный – молекулярный. Поэтому определить дисперсность торфа, т.е. найти процентное содержание его отдельных фракций каким-то одним методом не удастся. (фракцией называется совокупность частиц в узком интервале размеров).

Для получения дисперсности торфа применяется три вида анализов: ситовой, седиментометрический и электронномикроскопический. Ситовой анализ делится на два вида: сухой и мокрый. Сухой ситовой анализ применяется для пылевидного торфа и проводится путем рассева навески (100 г) торфа в наборе сит. Мокрый ситовой анализ проводится для влажного торфа путем размыва на ситах. Минимальный размер в этом случае 250 мкм. Седиментометрический анализ позволяет определить состав фракций от 250 до 1 мкм. Размеры частиц < 1 мкм и их содержание определяется на электронном микроскопе.

Дисперсность торфа принято характеризовать содержанием следующих фракций: > 3000 мкм; 3000–1000; 1000–500; 500–250; 250–100; 100–50; 50–20; 20–10; 10–5; 5–2; 2–1; < 1 мкм. Содержание фракций больше или меньше какого-то размера называется **суммарным содержанием**. Между суммарным содержанием фракций для торфа В.Д. Копенкиным установлены эмпирические зависимости, позволяющие определить их содержание по одной фракции. В качестве такой базовой фракции выбрана фракция < 250 мкм, обозначаемая в дальнейшем  $P_{250}$ . Она определяется по результатам ситового анализа, а остальные – расчетным путем по уравнениям или по номограммам (рис. 11.1 и 11.2).

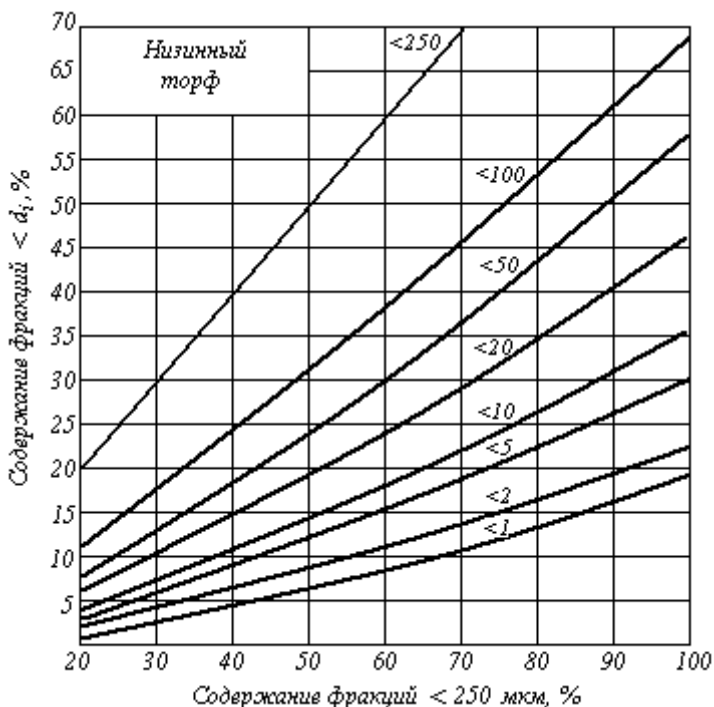


Рис. 11.1. Номограмма для расчета дисперсионного состава низинного торфа по результатам ситового анализа

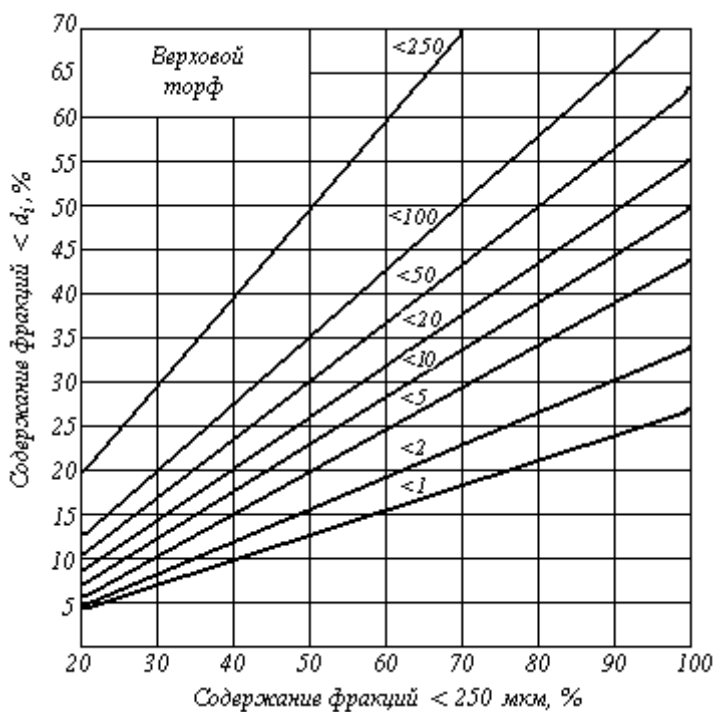


Рис. 11.2. Номограмма для расчета дисперсионного состава верхового торфа по результатам ситового анализа

**Цель работы** заключается в определении дисперсного состава переработанного и непереработанного торфа сокращенным методом и оценки величины охвата переработкой.

### Порядок выполнения работы

1. Берутся два образца торфа (переработанный и непереработанный).

2. Из каждого образца торфа отбирают две навески массой по 10 г каждая.

3. Одна из этих навесок помещается в сушильный шкаф, где сушится до постоянной массы при  $t = 105\text{--}110$  °С. Другая помещается в стакан и заливается водой. После 5 минут замачивания и встряхивания навеска переносится на сито 0,25 мм и промывается в водопроводной воде. Обычно делают 4–5 промывок. Контролируется чистота промывки по наличию мути в воде.

4. Остаток на сите после промывки собирается в бюкс и ставится на сушку. Сушится до постоянной массы.

5. По массе абсолютно сухого остатка и сухой неразмытой навески определяют содержание фракций < 250 мкм. Определение ведется по формуле

$$P_{250} = \frac{m_o - m}{m_o} \cdot 100 \%,$$

где  $m_o$  – масса неразмываемой навески после сушки в термостате;

$m$  – масса сухого остатка на сите после сушки.

6. По номограммам определяют содержание остальных фракций и результаты записывают в табл. 11.1.

### Пример выполнения работы

Магелланикум торф  $R = 30 \div 35 \%$ .

Непереработанный:

№	Масса	Масса	Масса бюкса	Масса	
---	-------	-------	-------------	-------	--

бюкса	пустого бюкса, г	навес ки, г	с торфом после сушки, г	сухого вещества, г	Примечание
018	26,31	10	28,31	2,00	вся проба фракция 250мкм
019	23,84	10	24,58	0,74	

$$P'_{250} = \frac{2 - 0,74}{2} \cdot 100 = 63 \%$$

Переработанный:

020	22,46	10	24,50	2,04	вся проба фракция > 250мкм
021	23,10	10	23,47	0,28	

$$P^i_{250} = \frac{2,04 - 0,28}{2,04} \cdot 100 = 86 \%$$

По номограмме для верхового торфа определить содержание фракций. Для переработанного и непереработанного торфа можно пользоваться одной номограммой.

Таблица 11.1

размер, мкм	Исходный			Переработанный		Охват переработкой M, %
	$P'_i$ , %	интервал размеров, мкм	$\Delta P'_i$ , %	$P''_i$ , %	$\Delta P''_i$ , %	
-	-	7000-250	37,0	-	14,0	- 23,0
250	63,0	250-100	18,5	86,0	24,5	+ 6,0
100	44,5	100-50	6,0	61,5	8,5	+ 8,5
50	38,5	50-20	4,5	53,0	6,0	+ 1,5
20	34,0	20-10	4,0	47,0	7,5	+ 3,5
10	30,0	10-5	3,5	39,5	4,5	+ 1,0
5	26,5	5-2	6,0	35,0	8,0	+ 2,0
2	20,5	2-1	5,0	27,0	6,5	+ 1,5
1	15,5	1	15,5	20,5	20,5	+ 5,0
			1000	100,0		- 23 + 23

Охват переработкой характеризует процент исчезнувших фракций в результате переработки. Показатель  $M$  вычисляется по формуле

$$M = \Delta P_i'' - \Delta P_i',$$

где  $\Delta P_i'$  – количество фракций в данном интервале до переработки;  
 $\Delta P_i''$  – после переработки.

Знак «+» характеризует приобретенные фракции в процессе переработки; «-» – исчезнувшие. Количество фракций со знаком «+» равно количеству фракций со знаком «-».

В данном случае охват переработкой равен 23 %.

### **Контрольные вопросы**

1. Что называется дисперсной системой?
2. К каким дисперсным системам относится торф?
3. Что называется фракцией?
4. Какие виды анализов включает полный дисперсионный анализ торфа?
5. Сущность сокращенного анализа дисперсности торфа.

### **Литература**

1. Семенский, Е.П. Технический анализ торфа / Е.П. Семенский. – М.: Недра, 1966. –232 с.

## Лабораторная работа № 12

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЯ ПЛАСТИЧНОСТИ И ПРЕДЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ СДВИГА ОТ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ В ТОРФЕ

#### Общие сведения

В зависимости от влагосодержания торф может иметь три типа консистенций (состояний): текучий, пластичный, твердый. Влагосодержание, при котором торф из текучего состояния переходит в пластичное, называется границей текучести или верхней границей пластичности, а влагосодержание, при котором торф из пластичного состояния переходит в твердое – нижней границей пластичности.

При производстве кускового или мелкокускового торфа наибольшее значение имеет пластичное состояние. В этом состоянии торф способен деформироваться под действием сравнительно небольших усилий без разрушения и сохранять приданную ему форму после их снятия.

Свойство торфа необратимо изменять свою форму под влиянием внешней нагрузки без нарушения сплошности называется **пластичностью**.

Пластичность торфа обычно характеризуется показателем пластичности. Показатель пластичности – отношение диаметра дефор-



мированного при одноосном сжатии цилиндрического образца к его первоначальному диаметру.

$$K = \frac{d'_e}{d_f},$$

где  $d'_k$  – диаметр образца после деформирования;

$d_n$  – начальный диаметр образца.

О консистенции торфа можно судить и по величине предельного напряжения сдвига. **Предельное напряжение сдвига** – минимальное касательное напряжение, вызывающее сдвиг.

Известно, что при однородном напряженном состоянии одноосного сжатия теория упругости устанавливает весьма простые соотношения между нормальными  $\sigma$  и касательными  $\tau$  напряжениями. Согласно принципу Сен-Венана при одноосном сжатии касательные напряжения в образце материала, находящегося в пластичном состоянии, равны половине нормальных. Отсюда, для состояния равновесия величина предельного напряжения сдвига  $\theta$  будет

$$\theta = \tau = \frac{1}{2} \sigma = \frac{1}{2} \cdot \frac{4P}{\pi \cdot d_e^2} = \frac{2P}{\pi \cdot d_e^2},$$

где  $P$  – постоянная осевая нагрузка на образец;

$d'_k$  – диаметр образца после деформации.

Предельное напряжение сдвига можно выразить через показатель пластичности

$$\theta = \frac{2P}{\pi \cdot K^2 \cdot d_f^2}.$$

При постоянной осевой нагрузке на образец, принимаемой для торфа-сырца равной 19,62 Н, и начальном диаметре образца 0,03 м будем иметь

$$\theta = \frac{1,39}{K^2} \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Численно границы пластичности выражают через влажность или влагосодержание торфа.

Приближенно верхняя граница пластичности соответствует полной влагоемкости торфа.

Для нахождения нижней границы пластичности определяют показатели пластичности при разной влажности торфа и строят график зависимости  $K = f(w)$ . Зависимость  $K = f(w)$  имеет точку перегиба, которая свидетельствует о переходе торфа из пластичного в твердо-пластичное состояние. Для разных видов торфа эта точка лежит в пределах 73–81 % относительной влажности.

Значения показателя пластичности и предельного напряжения сдвига торфа методом одноосного сжатия определяют при помощи пластиметра, конструкция которого разработана И.Д. Беловидовым и В.Г. Горячкиным.

Пластиметр состоит из покоящегося на трех винтовых опорах основания, несущего две направляющие стойки с подшипниками для вала с кулачком, кулачка с валом и рукояткой, подвижной рамы с площадкой для груза и штампом, непосредственно давящим на образец.

**Целью работы** является выяснение зависимости показателя пластичности и предельного напряжения от влажности торфа.

Торф с разной влажностью готовят путем добавления к нему некоторого количества воды. Влажность определяют расчетным путем по формуле

$$w_2 = 100 - \frac{M_1}{M_2} \cdot (100 - w_1) \%,$$

где  $M_1$  – масса торфа при влажности  $w_1$ ;

$M_2$  – масса торфа после добавления воды.

**Аппаратура:** пластиметр; цилиндр и поршень для приготовления образца; секундомер; шпатель, линейка, вошенная бумага; стеклянная пластинка; аппаратура для определения влажности торфа.

### Порядок выполнения работы

1. Приготовить 5 проб торфа различной влажности.
2. Из торфа определенной влажности приготовить цилиндрический образец. Для этого полый цилиндр заполняют торфом. По торцам цилиндр очищается от излишков торфа шпателем и при помощи поршня образец выдавливается из цилиндра на стеклянную пластинку.
3. Пластинку с образцом установить в центре столика пластиметра. При этом подвижная рамка прибора должна находиться в крайнем верхнем положении. На верхний торец образца положить листочек белой (вощенной) бумаги. После этого подвижную рамку опустить на кулачок так, чтобы ролик находился на самом гребне кулачка. При таком положении необходимо, чтобы штамп касался бумаги, покрывающей образец. На площадку поставить груз, заметить время и быстрым движением ручки прибора по ходу часовой стрелки повернуть кулачок так, чтобы штамп опирался на образец и деформировал его. Через 5 секунд движением ручки в том же направлении рамку поднять по кулачку, снимая нагрузку с деформированного образца.
4. Извлечь пластинку с образцом, осторожно снять с него бумагу, на которой остается отпечаток. При помощи линейки измерить диаметр отпечатка в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Результаты этих двух измерений не должны отличаться больше, чем на 1 мм. Для каждого исследуемого торфа проделать не менее двух испытаний, расхождения между которыми допустимы не более 1 мм. После замера образец торфа со стеклянной пластинки собирают и используют его для определения влажности.
5. Рассчитать показатель пластичности и предельное напряжение сдвига. Результаты испытаний записать в табл. 12.1.
6. Построить графики зависимости  $K$  и  $\theta$  от  $w$  и  $U$ .

Таблица 12.1

Торф (тип, вид \_\_\_\_\_, степень разложения  $R =$  \_\_\_\_\_%)

№ пп	Влажность $W$ , %	Влагосодержание $U$ , кг/кг	Диаметр образца, м		$K$	$\theta$ , Па
			$d_n$	$d_k$		

### Контрольные вопросы

1. Типы консистенции торфа.
2. Что называется пластичностью торфа?
3. Чем характеризуется пластичность торфа?
4. Метод определения показателя пластичности.

### Литература

1. Семенский, Е.П. Технический анализ торфа / Е.П. Семенский. – М.: Недра, 1966. –232 с.

### Лабораторная работа № 13

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ СДВИГА ТОРФА МЕТОДОМ КОНИЧЕСКОГО ПЛАСТОМЕТРА

#### Общие сведения

Реологические исследования торфа-сырца и торфа пониженной влажности показали, что он может рассматриваться как вязкопластичное тело. Одной из важнейших характеристик вязкопластичного тела является предельное напряжение сдвига – напряжение, выше которого тело начинает течь или деформироваться необратимо. Величина предельного напряжения сдвига весьма чувствительна к изменениям состава и структуры дисперсных материалов. Так, например, при снижении влажности торфа на 4–5 % его предельное напряжение сдвига возрастает в 2–3 раза.

Одним из наиболее простых и точных методов определения предельного напряжения сдвига  $\theta$  является метод погружения конуса, предложенный акад. П.А. Ребиндером. Величина  $\theta$  определяется по формуле

$$\theta = K \frac{P}{h^2} \text{ Па,}$$

где  $P$  – приложенное усилие, Н;

$h$  – глубина погружения конуса, м;

$K$  – константа прибора, зависящая от угла раствора конуса ( $K = 0,959$  для  $\alpha = 30^\circ$ ;  $K = 0,416$  для  $\alpha = 45^\circ$  и  $K = 0,214$  для  $\alpha = 60^\circ$ ).

Для определения величины предельного напряжения сдвига торфа методом погружения конуса М.П. Воларовичем и С.М. Марковым сконструирован прибор, получивший название конического пластометра.

Использование конического пластометра дает возможность определить значения предельного напряжения сдвига, необходимые для расчетов перерабатывающих и формирующих устройств и оценить степень переработки торфа в различных механизмах.

Оценка степени переработки торфа может быть сделана на основании значения предельного напряжения сдвига исходного и переработанного торфа при одинаковой влажности

$$И = \frac{\theta_o - \theta_n}{\theta_o} \cdot 100 \%,$$

где  $\theta_o$  – предельное напряжение сдвига непереработанного торфа;

$\theta_n$  – то же для торфа, переработанного тем или иным механизмом.

**Целью работы** является определение предельного напряжения сдвига торфа различной влажности и степени переработки методом конического пластометра.

**Аппаратура:** конический пластометр; секундомер; шпатель; аппаратура для определения влажности торфа.

### Порядок выполнения работы

1. Приготовить 5 образцов торфа различной влажности (в пределах 70–80 %), переработанного в шнековом механизме 1, 3 и 10 раз.

2. Исследуемый торф плотно (без пустот) уложить в цилиндрический сосуд вровень с краями. Поверхность торфа разравнять шпателем.

3. Установить прибор по уровню, регулируя его положение установочными винтами.

4. Сосуд с торфом поставить на подъемный столик, который микрометрической гайкой поднять вверх до соприкосновения поверхности торфа с острием конуса. Шток индикатора подвести под первую упорную пластину. Установить стрелку индикатора в нулевое положение.

5. Нажать пусковую кнопку, освобождая штангу с конусом, и включить секундомер. Через 180 с произвести замер глубины погружения конуса по шкале индикатора. В каждый образец торфа в разных местах произвести 3–5 погружений конуса и для расчета взять среднеарифметическую величину. Результаты измерений занести в табл. 13.1.

6. Рассчитать предельное напряжение сдвига торфа.

7. Построить графики зависимости предельного напряжения сдвига торфа от величины влажности для разной степени переработки торфа.

8. Рассчитать степень переработки торфа.

Таблица 13.1

Торф (тип, вид \_\_\_\_\_, степень разложения  $R =$  \_\_\_\_\_ %).  
Масса конуса и штанги \_\_\_\_\_ кг. Угол раствора конуса \_\_\_\_\_).

Кратность переработки торфа	Влажность $W$ , %	Масса груза, кг	Глубина погружения конуса, м				$\theta$ , Па
			$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_{cp}$	

### Контрольные вопросы

1. Определение предельного напряжения сдвига.

2. Принцип измерения предельного напряжения сдвига торфа с помощью конического пластометра.

3. Оценка степени переработки торфа по величине предельного напряжения сдвига.

### Литература

1. Семенский, Е.П. Технический анализ торфа / Е.П. Семенский. – М.: Недра, 1966. –232 с.

## Лабораторная работа № 14

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПРЕССИОННЫХ СВОЙСТВ ТОРФА

#### Общие сведения

Приложение к торфу нагрузки приводит к его деформированию. При этом изменяется не только форма, но и объем. Для водонасыщенных образцов изменение объема связано с удалением воды из порового пространства. Сжимаемость сухого вещества торфа и воды чрезвычайно мала и практически их можно считать несжимаемыми. Поэтому уплотнение торфа при приложении внешней нагрузки связано с изменением пористости. Закономерность изменения пористости от внешней сжимаемой нагрузки называется компрессионными свойствами. Эти свойства определяются в приборах одноосного сжатия при отсутствии бокового расширения.

**Пористостью** называется отношение объема пор к объему образца и определяется по следующей зависимости

$$n = 1 - \frac{\gamma}{\rho} \cdot \frac{100 - W}{100},$$

где  $n$  – пористость в долях единицы;

$\gamma$  – плотность торфа, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho$  – плотность сухого беспористого вещества торфа, принимаемая в расчетах равной 1500 кг/м<sup>3</sup>;

$W$  – влажность торфа, %.

На практике для оценки компрессионных свойств обычно пользуются коэффициентом пористости  $e$ , представляющим отношение объема пор к объему сухого вещества. Т. к. объем сухого вещества величина постоянная (масса несжимаема), то коэффициент пористости линейно зависит от изменения объема пор. Между коэффициентом пористости и пористостью существует зависимость

$$e = \frac{n}{1 - n} \quad \text{или обратнo} \quad n = \frac{e}{1 + e}.$$

Пористость может меняться от 0 до 1;  $e$  – от 0 до  $\infty$ . Для двухфазного состояния (торф + вода) коэффициент пористости равен

$$e = \frac{W \cdot \rho}{\rho_a (100 - W)},$$

где  $\rho_a$  – плотность воды (можно принимать равной 1000 кг/м<sup>3</sup>).

Если торф находится в трехфазном состоянии, то давление воспринимается скелетом, поровой водой и воздухом. Деформация идет за счет сдавливания воздуха и воды – наиболее сложный вид деформации.

При нагружении водонасыщенного торфа скорость уплотнения будет зависеть от скорости удаления воды и от способности к течению самого скелета. Математически степень сжимаемости характеризуется производной  $\frac{de}{dP}$ , где  $P$  – давление. Эта величина, взятая с обратным знаком, называется коэффициентом компрессии



$$\frac{de}{dP} = -a \text{ или } de = -a \cdot dP.$$

Последнее уравнение называется уравнением Терцаги. Коэффициент « $a$ » не является константой, а есть величина переменная, зависящая от  $P$ . Уравнение Терцаги может быть решено, если известна функция изменения  $e$  от  $P$ .

Сжимаемость торфа зависит от состояния нагруженности структуры, от степени разложения и влажности. Наибольшую сжимаемость имеют торфы малой степени разложения, коэффициент пористости их доходит до 25. При нагрузке 10 кПа  $e$  этих торфов может уменьшиться вдвое. Для торфов высокой степени разложения ( $R = 40\%$ ) при той же нагрузке  $e$  с 7–10 уменьшается до 6–8.

Если образец торфа поместить в сосуд с жесткими стенками и выдерживать под вертикальной нагрузкой, то он будет давать осадку вследствие уменьшения пористости. Каждому определенному давлению соответствует определенная пористость. Графически эта зависимость выражается компрессионной кривой (рис. 14.1).

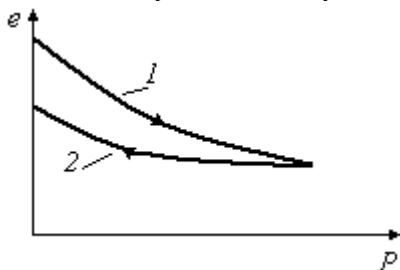


Рис. 14.1. Компрессионная кривая:  
1 — кривая сжатия; 2 — кривая разуплотнения (разгрузочная)

Следует отличать понятие компрессия от более общего — сжатие. В первом случае боковое расширение исключено за счет применения жестких обойм. При испытании на сжатие боковая поверхность свободна (одноосное сжатие) либо подвергается давлению (трехосное сжатие).

Если образец после уплотнения начать разгружать ступенями, то объем образца начнет увеличиваться. Однако, кривая равновесной пористости при данной нагрузке при разуплотнении будет ле-

жать ниже кривой сжатия (рис. 14.1, кривая 2). Это происходит за счет того, что в образце появились остаточные деформации.

Если нагрузки невелики, то компрессионную кривую можно заменить прямой. Тогда

$$e = e_0 - a \cdot P,$$

где  $e_0$  – коэффициент пористости при внешнем давлении  $P = 0$ ;

$a$  – коэффициент компрессии, который имеет размерность обратную  $P$ .

В зависимости от величины « $a$ » грунты (по Н.А. Цытовичу) делятся:

- на сильносжимаемые  $a > 10^{-6} \text{ м}^2/\text{Н}$ ;

- среднесжимаемые  $a \approx 10^{-7} \text{ м}^2/\text{Н}$ ;

- малосжимаемые  $a < 10^{-8} \text{ м}^2/\text{Н}$ .

Для проведения испытаний используется компрессионный прибор, состоящий из жесткой гильзы, в которую помещается образец торфа, поршня с дренажным диском для отвода отжимаемой воды и телескопического загрузочного рычага для передачи нагрузки на поршень.

Начальная пористость и коэффициент пористости определяются расчетным путем по значениям влажности и плотности торфа.

В ходе уплотнения, замеряя по индикатору величину деформации образца  $\Delta h$ , определяют изменение коэффициент пористости

$$\Delta e = \frac{\Delta h}{h_0} \cdot (1 + e_0),$$

где  $h_0$  – начальная высота образца;

$e_0$  – начальный коэффициент пористости.

Текущее значение  $e$  определяется

$$e = e_0 - \Delta e.$$

### Порядок выполнения работы

1. По инструкции ознакомиться с конструкцией прибора и системой отсчета по индикатору.

2. Определить начальный коэффициент пористости.

3. Установить гильзу с торфом в прибор и закрепить верхнюю часть прибора с поршнем. Поршень привести в соприкосновение с торфом и закрепить шток поршня зажимным винтом.

4. Уравновесить загрузочный рычаг с помощью грузов.

5. Положить на подвеску первый груз 0,98 Н (100 г). Размеры в приборе подобраны таким образом, что при максимально выдвинутых штангах рычага от массы груза 100 г создается давление поршня на торф  $9,8 \cdot 10^4$  Па. Отпускают зажимной винт поршня и первый отсчет берут через 5 минут.

Уплотнение – длительный процесс. За условную стабилизацию деформации принимают величину сжатия, не превышающую 0,01 мм:

- для песчаных грунтов – за 30 мин.;

- для супесей – за 3 ч.;

- для суглинков, глин и торфа – за 12 ч.

После стабилизации уплотнения прикладывают новую нагрузку.

В нашем случае будем условно считать, что стабилизация деформации произойдет через 5 мин.

6. Дальнейшие нагрузки с выдержками по 5 мин давать: 196, 294, 392, 490, 588, 686, 785, 883, 9800 кПа, что соответствует массам гирь 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0 кг. Отсчеты по индикатору заносятся в табл. 14.1.

7. Рассчитать коэффициенты пористости.

8. Построить компрессионную кривую в координатах  $e - P$ .

Таблица 14.1

Тип торфа \_\_\_\_\_, степень разложения \_\_\_\_\_, начальная влажность \_\_\_\_\_, плотность торфа \_\_\_\_\_, начальный коэффициент пористости \_\_\_\_\_, высота образца \_\_\_\_\_.

№	Внешние нагрузки $P_e$ , кПа	Показание индикатора	Абсолютная деформация $\Delta h$ ,	Относительная деформация	Изменение коэффициента пористости	Значение коэффициента пористости $e$
---	------------------------------------	----------------------	---------------------------------------	--------------------------	-----------------------------------	---

			мм	$\frac{\Delta h}{h}$	$\Delta \epsilon$	
1	98					
2	196					
...	...					
10	9800					

### Контрольные вопросы

1. Что такое компрессия торфа и чем она отличается от сжатия?
2. Какие применяются уравнения для описания компрессионных кривых?

### Литература

1. Амарян, Л.С. Прочность и деформируемость торфяных грунтов / Л.С. Амарян. – М. – Недра, 1969. – 191 с.
2. Цытович, Н.А. Механика грунтов: Учеб. пособие для вузов / Н.А. Цытович. – 4-е изд. – М.: ВШ, 1983. – 288 с.

### Лабораторная работа № 15

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ТОРФА МЕТОДОМ ФИЛЬТРАЦИИ МЕЧЕНОЙ ВОДЫ

### Общие сведения

Пористая структура торфа (характер расположения составляющих его частиц в объеме образца, их взаимная ориентация и способы ее осуществления) имеет большое значение при рассмотрении технологических процессов, связанных с переносом тепла и влаги. Характеристики пористой структуры имеют решающее значение при изучении вопросов сушки и механического обезвоживания торфа, процессов фильтрации воды и влагопроводности торфяной залежи и т.п.

### Основные характеристики пористой структуры торфа

1. **Общая пористость**  $n$  – отношение объема пор, занятых водой и газом, ко всему объему торфа. Пористость выражают в процентах или долях единицы

$$n = \frac{V_{\hat{a}} + V_{\bar{a}}}{V},$$

где  $V_{\hat{a}}$  и  $V_{\bar{a}}$  – объем пор в образце торфа, занятых соответственно водой и газом;

$V$  – объем образца торфа.

Практически установить объем, занимаемый отдельными фазами, затруднительно. Поэтому пористость подсчитывается по значениям плотности торфа  $\gamma$ , плотности его сухого вещества  $\rho$  и относительной влажности  $w$  по формуле

$$n = 1 - \frac{(100 - w) \cdot \gamma}{100 \cdot \rho}.$$

2. **Абсолютная пористость** или коэффициент пористости  $e$  – отношение объема пор, занятых водой и газом, к объему твердого (сухого) вещества торфа

$$e = \frac{V_{\hat{a}} + V_{\bar{a}}}{V_0} = \frac{n}{1 - n} \quad \text{или} \quad \hat{a} = \frac{100 \cdot \rho}{(100 - w) \cdot \gamma} - 1.$$

3. **Относительная влагонасыщенность**  $n_{\hat{a}}$  – отношение объема пор, занятых водой, к общему объему торфа

$$n_{\hat{a}} = \frac{V_{\hat{a}}}{V} \quad \text{или} \quad n_{\hat{a}} = \frac{\gamma \cdot w}{100}.$$

4. **Абсолютная влагонасыщенность**  $e_s$  – отношение объема пор, занятых водой, к объему твердого вещества торфа

$$e_{\bar{a}} = \frac{V_{\bar{a}}}{V_T} \quad \text{или} \quad e_{\bar{a}} = \frac{W \cdot \rho}{100 - W}.$$

5. **Относительная газонасыщенность**  $n_z$  – отношение объема пор, занятых газом, к объему торфа

$$n_{\bar{a}} = \frac{V_{\bar{a}}}{V} = n - n_{\bar{a}} \quad \text{или} \quad n_{\bar{a}} = 1 - \frac{(100 - W) \cdot \gamma}{100 \cdot \rho} - \frac{\gamma \cdot W}{100}.$$

6. **Абсолютная газонасыщенность**  $e_z$  – отношение объема пор, занятых газом, к объему твердого вещества торфа

$$e_{\bar{a}} = \frac{V_{\bar{a}}}{V_T} = \bar{a} - \bar{a}_{\bar{a}} \quad \text{или} \quad e_{\bar{a}} = \frac{100 \cdot \rho}{(100 - W) \cdot \gamma} - 1 - \frac{W \cdot \rho}{100}.$$

7. Максимальный  $D_{max}$  и минимальный  $D_{min}$  размеры (диаметры) пор.

8. Кривые распределения пор по размерам:

а)  $\frac{dQ}{dD} = f(D)$  – кривая распределения размеров пор по расходу

жидкости  $Q$ ;

б)  $\frac{dV_n}{dD} = f(D)$  – кривая распределения размеров пор по их объему  $V_n$

9. **Содержание неподвижной воды**  $U_n$ , т.е. воды, не принимающей участия в фильтрационном движении при данном градиенте напора. К неподвижной воде относятся следующие категории влаги: химически связанная вода  $U_x$ , физико-химически связанная вода  $U_{ф.х.}$ , осмотическая (энтропийно-связанная) вода  $U_{осм.}$ , иммобилизованная вода  $U_{имм.}$ , структурно-захваченная вода  $U_{стр.}$  и внутриклеточная вода  $U_{внк.}$

$$U_n = U_x + U_{ф.х.} + U_{осм.} + U_{имм.} + U_{стр.} + U_{внк.}$$

10. **Активная пористость**  $n_a$  – отношение объема водопроводящих пор к объему образца

$$n_a = \frac{V_{\bar{a}} - V_f}{V} = \frac{V - V_T - V_f}{V} = \frac{V_c}{V},$$

где  $V_c = V_v - V_n$  – объем водопроводящих пор или объем способной передвигаться воды в образце торфа;

$V_n$  – объем неподвижной воды в образце торфа.

11. **Кинетическая удельная поверхность**  $S_k$  – отношение поверхности водопроводящих пор  $S_n$  к объему  $V$  или массе  $M$  образца

$$S_{\bar{e}} = \frac{S_j}{V} \text{ м}^2/\text{м}^3 \quad \text{или} \quad S_{\bar{e}} = \frac{S_{\bar{a}}}{\gamma} \text{ м}^2/\text{кг}.$$

12. **Гидравлический радиус пор**

$$\delta = \frac{n_a}{S_{\bar{e}}}.$$

Значения гидравлического радиуса пор соответствуют средней толщине слоя воды над поверхностью водопроводящих пор и, следовательно, характеризуют средние размеры водопроводящих путей в исследуемом образце торфа.

Первые шесть характеристик определяются по значениям плотности торфа, плотности его сухого вещества и влажности расчетным путем.

Остальные пять характеристик определяются различными методами, одним из которых является разработанный М.П. Воляровичем и Н.В. Чураевым с сотрудниками метод фильтрации меченой воды через полностью водонасыщенный (находящийся в двухфазном состоянии) образец торфа.

В качестве метки чаще всего применяют сахарозу ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) или радиоактивный индикатор  $Na_2SO_4$  с изотопом серы  $^{35}S$ , которые почти не поглощаются твердым веществом торфа.

Концентрация сахара в воде определяется при помощи специального прибора – рефрактометра, а радиоактивность воды - радиометрическими методами.

Для определения характеристик пористой структуры торфа применяют фильтрационный прибор, схема которого показана на рис. 15.1.

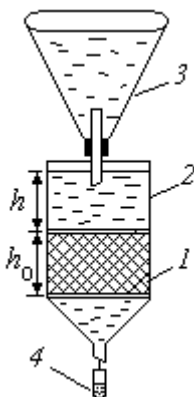


Рис. 15.1. Схема фильтрационного прибора

Образец торфа 1 известной массы и влажности помещается в корпус 2 фильтрационного прибора между верхним и нижним фильтрами и пропитывается снизу дистиллированной водой для приведения его в двухфазное состояние. Затем в прибор над образцом и в уравнительную колбу 3, служащую для поддержания постоянного уровня воды  $h$ , наливается меченая вода. Фильтрат собирают в пробирки 4 порциями  $\Delta V_i$ , причем по секундомеру отмечается время накопления фильтрата. Сумма отдельных порций фильтрата составляет объем фильтрата, т.е.  $\sum \Delta V_i = V_\phi$ . Одновременно с измерением объема фильтрата  $\Delta V_i$  определяют активность (концентрацию) индикатора  $N_i$  в этой пробе. Опыт прекращают после того, как активность фильтрата станет равной активности ме-



ченой воды  $N_i$ . По результатам опыта строят графики  $N = f(V_0)$  и  $V_0 = f(t)$ , представленные на рис. 15.2.

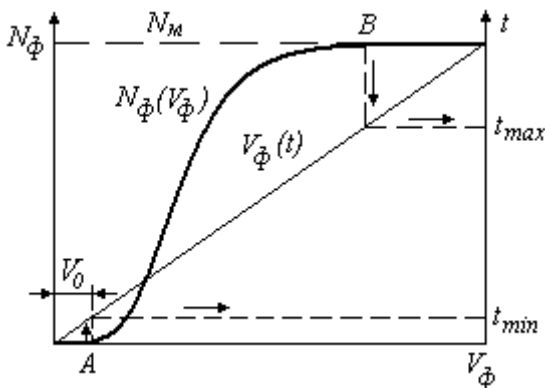


Рис. 15.2. Изменение активности проб фильтрата в течение опыта

Как видно из рисунка, активность фильтрата постепенно возрастает и достигает активности меченой воды.

Передвигаясь по водопрводящим порам торфа, меченая вода вытесняет из них свободную чистую воду. Постепенный рост активности проб фильтрата объясняется различными скоростями движения меченой воды в порах различной крупности. Чем больше размеры пор, тем выше скорости передвижения в них воды. Вначале меченая жидкость вытесняет подвижную влагу из наиболее крупных пор образца. Объем  $V_0$  соответствует объему фильтрата с активностью, равной нулю, т.е. не содержащему меченой жидкости. Появление метки в фильтрате связано с прохождением ее по наиболее крупным порам. В дальнейшем, по мере фильтрации, в работу вступают все более и более мелкие поры. Активность фильтрата при этом постепенно увеличивается. Вытеснение заканчивается, когда меченая вода заменит свободную чистую и в порах самых малых размеров. После этого в фильтрат по всем порам будет идти меченая вода с активностью, равной активности исходной меченой жидкости, находящейся в колбе над образцом.

Приведенная на рис. 15.2. зависимость между объемом фильтра  $V_{\phi}$  и временем опыта  $t$ , характеризует скорость накопления фильтра. Если напор во время опыта постоянен и в образце не происходит структурных изменений, то эта зависимость будет прямой. На основании этих двух графиков и могут быть рассчитаны диаметры пор и построены кривые распределения пор исследуемого образца по размерам. При этом делается предположение, что торф представляет собой систему, состоящую из сети прямых параллельных цилиндрических капилляров различного диаметра. Расчет эффективных диаметров водопроводящих пор  $D$  ведется на основании закона Пуазейля

$$D = 2 \sqrt{\frac{8 \cdot \eta \cdot h_0}{l \cdot t_i \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot g}},$$

где  $D$  – диаметр цилиндрической поры, м;

$h_0$  – высота образца торфа, м;

$\eta$  – вязкость жидкости, Па·с;

$\rho_{\text{ж}}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$t_i$  – время прохождения меченой воды через поры данного размера, с;

$l$  – градиент напора в фильтрационном приборе, равный для нашего случая:

$$l = \frac{h_0 + h}{h_0}.$$

Вначале определяют  $D_{\text{max}}$  и  $D_{\text{min}}$ , соответствующие моменты времени  $t_{\text{min}}$  и  $t_{\text{max}}$ . Для нахождения  $t_{\text{min}}$  или времени, в течение которого первые порции меченой воды прошли через образец, поступают следующим образом. Из точки «А» (рис. 15.2) восстанавливают перпендикуляр до пересечения с прямой  $V_{\phi} = f(t)$ .

Затем проводят прямую параллельно оси абсцисс до пересечения с осью  $t$  (показано стрелками), на которой получают значение  $t_{\min}$ .

Минимальный диаметр пор  $D_{\min}$  при данных условиях опыта определяется по времени, в течение которого активность порций фильтрата оказывается равной исходной активности меченой воды  $N_j$ . По графику это определяется следующим образом. Отмечают, когда кривая  $N_o = (V_\phi)$  коснется прямой  $N_j$  и из точки «В» проводят перпендикуляр до пересечения с прямой  $V_o(t)$ , а затем – прямую параллельно оси абсцисс до пересечения с осью  $t$ . Таким образом, определяется  $t_{\max}$ , а по нему –  $D_{\min}$ .

Для построения кривых распределения размеров по расходу жидкости  $\frac{dQ}{dD} = f(D)$  и по объему пор  $\frac{dV_n}{dD} = f(D)$  интервал времени  $t_{\min} - t_{\max}$ , разбивают на ряд интервалов  $\Delta t$  и соответственно этим интервалам рассчитывают  $\Delta D$ , т.е.  $\Delta t \rightarrow \Delta D$ . Так как этот интервал размеров пор соответствует изменению активности  $\Delta N$ , т.е.  $\Delta t \rightarrow \Delta D \rightarrow \Delta N$ , то изменение активности фильтрата  $\Delta N$ , в свою очередь, пропорционально расходу жидкости  $\Delta Q$  через поры данного интервала  $\Delta D$ , т.е.  $\Delta t \rightarrow \Delta D \rightarrow \Delta N \rightarrow \Delta Q$ . По этим данным строят кривую распределения размеров водопроводящих пор по расходу жидкости.

От распределения размеров пор по расходу жидкости можно перейти к распределению пор по их объему, используя зависимость

$$\Delta V = \Delta Q \cdot t_{cp},$$

где  $t_{cp}$  – среднее значение времени для каждого интервала  $\Delta t$ .

При помощи метода фильтрации меченой жидкости можно получить и такую характеристику пористой структуры торфа, как содержание неподвижной воды  $U_n$ , т.е. воды, не принимающей участия в фильтрационном движении при данном градиенте напора.

После окончания процесса вытеснения (т.е. при  $t > t_{\max}$ ) в объеме фильтрата  $V_\phi$ , собранном в процессе опыта, содержится вся сво-

бодная вода  $V_c$ , вытесненная из образца торфа, и часть меченой воды, профильтровавшейся через торф

$$V_{\hat{o}} = V_j + V_c.$$

Объем меченой воды  $V_j$  в фильтрате легко установить

$$V_j = \frac{V_{\hat{o}} \cdot N_{\hat{o}}}{N_j},$$

где  $N_j$  – активность (исходная) меченой воды;

$N_{\hat{o}}$  – средняя активность фильтрата

$$N_{\hat{o}} = \frac{\sum \Delta V_j \cdot N_j}{\sum \Delta V_j},$$

где  $\Delta V_j$  – объем отдельных порций фильтрата;

$N_j$  – активность этих порций.

На основании полученных зависимостей можно подсчитать объем неподвижной воды  $V_f$ , равный разности между общим количеством воды в торфе  $V_{\hat{a}}$  и количеством свободной воды  $V_c$

$$V_f = V_{\hat{a}} - V_c = V_{\hat{a}} - V_{\hat{o}} \left(1 - \frac{N_{\hat{o}}}{N_j}\right).$$

Содержание неподвижной воды определяется по формуле

$$U_f = \frac{V_f \cdot \rho_{\text{ж}}}{\lambda \bar{n}} \cdot 100 \%,$$

где  $\rho_{\text{ж}}$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$M_c$  – масса сухого вещества в образце, кг.

Теперь, зная общий объем воды в образце  $V_{\text{д}}$  и объем неподвижной воды  $V_f$ , можно определить активную пористость  $n_a$ .

Величина кинетической удельной поверхности, предложенная в качестве структурной характеристики Б.В. Дерягиным, определяется по формуле Козени-Кармана, которая может быть записана

$$S_{\text{к}} = \sqrt{\frac{n_a^3 \cdot d^2 \cdot l \cdot \pi \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot g}{8 \cdot Q \cdot \eta}} \text{ м}^2/\text{м}^3,$$

где  $n_a$  – активная пористость образца;

$d$  – диаметр образца торфа, м;

$\rho_{\text{ж}}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$l$  – градиент напора в фильтрационном приборе;

$Q$  – расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;

$\eta$  – вязкость жидкости, Па·с.

На основании значения  $n_a$  и  $S_{\text{к}}$  можно определить еще одну характеристику пористой структуры торфа – гидравлический радиус пор  $\delta$ .

**Целью работы** является определение характеристик пористой структуры торфа методом фильтрации меченой воды через полностью водонасыщенный образец.

**Аппаратура:** фильтрационный прибор; рефрактометр; пробирки; аппаратура для определения влажности торфа; сахара (или тростниковый сахар); дистиллированная вода; секундомер.

### Порядок выполнения работы

1. Подготовить рефрактометр к работе.

2. Поместить образец торфа в фильтрационный прибор и профильтровать через него чистую воду (для приведения образца в двухфазное состояние).

3. Установить над образцом уравнительную колбу с меченой водой и включить секундомер. Замерить установившийся уровень меченой воды над образцом  $h$  и рассчитать градиент напора в фильтрационном приборе.

4. По мере накопления 3–5 мл фильтрата сменить пробирки, отмечая время накопления каждой порции по секундомеру, измеряя ее объем и концентрацию сахара  $N_j$ .

5. Окончить фильтрацию меченой воды после того, как концентрация проб фильтрата станет равной исходной концентрации меченой воды. Результаты опыта записать в табл. 15.1.

Таблица 15.1

Образец торфа: диаметр  $d$  \_\_\_\_\_, высота  $h$  \_\_\_\_\_,  
влажность  $W$  \_\_\_\_\_, градиент напора  $l$  \_\_\_\_\_.

№ пробирок	Текущее время опыта $t$ , С	Объем отдельных проб фильтрата $\Delta V_j$ , м <sup>3</sup>	Концентрация метки в пробах $N_j$ , %	$\Delta V_j \cdot N_j$
$V_\phi = \sum \Delta V_j =$		$\sum \Delta V_j \cdot N_j =$		

6. Произвести расчеты (как было описано выше) для построения кривой распределения размеров пор по расходу жидкости и результаты записать в табл. 15.2. По полученным данным на миллимет-

ровке построить кривую  $\frac{dQ}{dD} = f(D)$ . Для этого по оси абсцисс от-

кладывают значение значения диаметров пор  $D$  и строят гистограмму, основанием каждого прямоугольника которой служат рассчитанные интервалы диаметров пор  $\Delta D$ . Высоту прямоугольников определяют делением их площади (соответствующей расходу воды  $\Delta Q$  в % через поры данного интервала) на основание  $\Delta D$ .

Для построения обычно принимают масштаб: 1 см<sup>2</sup> площади графика соответствует 1 % расхода жидкости. После построения гистограммы проводят плавную кривую так, чтобы отбрасываемые части площади равнялись площадям, прибавляемым под кривой. Вся площадь под кривой распределения пор по размерам равна 100 % расхода воды через водопроницающие поры образца торфа.

Таблица 15.2

Интервал времени $\Delta t$ , с	Соответствующие им интервалы диаметров $\Delta D$ , м	Прирост концентрации метки $\Delta N_j$ равной приросту расхода воды $\Delta Q$ , % $\Delta N_j = N_{j+1} - N_j$
$\sum \Delta Q = 100 \%$		

7. Рассчитать по соответствующим формулам значения общей пористости  $n$ , активной пористости  $n_a$ , неподвижной воды  $U_n$ , кинетической удельной поверхности  $S_k$  и гидравлического радиуса пор  $\delta$ . Результаты записать в табл. 15.3.

Таблица 15.3

Торф (тип, вид, степень разложения  $R = \text{_____} \%$ )

$D_{\max}$ м	$D_{\min}$ м	$n$	$n_a$	$S$ м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	$\delta$ м	$U_n$ %

### Контрольные вопросы

1. Основные характеристики пористой структуры торфа.
2. Отличие активной пористости от общей.
3. Сущность метода фильтрации меченой воды через водонасыщенный образец торфа.

### Литература

1. Чураев, Н.В. Методы исследования водных свойств и структуры торфа с помощью радиоактивных индикаторов / Н.В. Чураев // Новые физические методы исследования торфа / Н.В. Чураев [и др.]. – М.-Л. –: ГЭИ, 1960. с. 125–137.

2. Воларович, М.П. Исследование свойств торфа при помощи радиоактивных изотопов / М.П. Воларович, Н.В. Чураев. – М.: АН СССР, 1960. – 198 с.

## Лабораторная работа № 16

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА

#### Общие сведения

При расчете переноса тепла при сушке торфа необходимо знать физические коэффициенты теплопереноса. К таким относятся коэффициенты теплопроводности, температуропроводности и удельной теплоемкости.

**Коэффициент теплопроводности**  $\lambda$  характеризует способность проводить тепло. Физический смысл его вытекает из уравнения Фурье. Пусть на стенке толщиной  $\ell$  поддерживается постоянная разность температур  $T_1 - T_2$ . Тогда количество тепла  $Q$ , проходящее через стенку, будет пропорционально ее площади  $S$  и времени прохождения  $t$ . Кроме того, величина  $Q$  будет тем больше, чем больше перепад температур  $\frac{T_1 - T_2}{\ell}$ , т.е.  $Q = \lambda \cdot \frac{T_1 - T_2}{\ell} \cdot S \cdot t$  или в дифференциальной форме

$$dQ = -\lambda \cdot S \cdot dt \cdot \frac{\partial T}{\partial \ell},$$

где  $\lambda$  – коэффициент пропорциональности, носящий название коэффициента теплопроводности.



Знак минус поставлен потому, что в направлении теплового потока  $q = \frac{dQ}{S \cdot dt}$  температура падает, т.е. градиент температуры  $\nabla T$  – величина отрицательная, а поток тепла должен быть положительным.

Величина  $\lambda$  имеет размерность Вт/(мК). В технических расчетах  $\lambda$  численно равно количеству тепла, проходящему через слой материала толщиной 1 м и площадью 1 м<sup>2</sup> за единицу времени при разности температур на противоположных концах 1°.

Для сухого воздуха при 293 К  $\lambda = 0,0252$  Вт/(мК). Для торфяных изоляционных плит при 293–303 К  $\lambda$  имеет значение 0,0290–0,0110 Вт/(мК). С ростом температуры  $\lambda$  увеличивается. Для сухого вещества  $\lambda$  почти не зависит от ботанической характеристики торфа и имеет значение примерно равное 0,1128 Вт/(мК). Значение  $\lambda$  увеличивается с ростом влажности и плотности ( $\gamma$ ) торфа.

**Коэффициент температуропроводности**  $\alpha$  характеризует инерционные свойства материала по отношению к внешним тепловым возмущениям, т.е. способность тела при нагреве (охлаждении) выравнять температуру во всем объеме.

Если температура тела при прохождении потока тепла повышается, то ее изменение во времени и в объеме тела определяется дифференциальным уравнением теплопроводности

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \cdot \nabla^2 T = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right),$$

где  $\nabla^2$  – оператор Лапласа, равный  $\left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right)$ ;

$\alpha$  – коэффициент температуропроводности.

Коэффициент температуропроводности показывает, на какую величину возрастает температура единицы объема вещества, если ему сообщать количество тепла равное  $\lambda$ .

Коэффициент температуропроводности связан с  $\lambda$  и удельной теплоемкостью  $C$  зависимостью

$$\alpha = \frac{\lambda}{C \cdot \gamma_0},$$

где  $\gamma_0$  - плотность сухого вещества в объеме влажного торфа и определяется по формуле

$$\gamma_0 = \frac{\gamma}{1+U},$$

где  $\gamma$  - натуральная плотность данного торфа;

$U$  - влагосодержание.

**Удельная теплоемкость  $C$**  определяет то количество тепла, которое необходимо сообщить телу, чтобы нагреть единицу массы этого тела на  $1^\circ$ . Размерность  $C$  - Дж/(кг град).

Для влажного материала  $C$  можно подсчитать

$$C = \frac{1}{1+U} \cdot C_D + \frac{U}{1+U} \cdot C_A,$$

где  $C_T$  - удельная теплоемкость сухого вещества торфа, равная  $1,97 \cdot 10^3$  Дж/(кг град);

$C_B$  - удельная теплоемкость воды, равная  $4,19 \cdot 10^3$  Дж/(кг град).

Коэффициенты теплопереноса связаны между собой зависимостью

$$\lambda = \alpha \cdot C \cdot \gamma_0.$$

Для их нахождения достаточно найти два любых коэффициента из опыта, а третий получить расчетом. Для нахождения коэффициентов теплопереноса во фрезерном торфе Н.И. Гамаюновым разработан метод зонда постоянной тепловой мощности. Следует заметить, что заменив тепловой зонд на устройство с постоянным расходом влаги можно определить коэффициенты массопереноса (коэффициент диффузии  $\alpha_0$ , коэффициент влагопроводности  $\lambda_0$  и коэффициент влагоемкости  $N_0$ ). Методы расчета и теории одинаковы для обоих случаев.

## Описание установки

Схема установки представлена на рис. 16.1. Зонд 1 представляет проволочную спираль из константана, намотанную на фарфоровый изолятор. Через спираль пропускается ток, напряжение и сила которого регулируются лабораторным автотрансформатором. С его помощью можно задавать разный режим нагревания. Зонд помещается в сосуд диаметром 20–30 см. Температура в точке, отстоящей на расстоянии  $r$ , измеряется термометром или терморезистором.

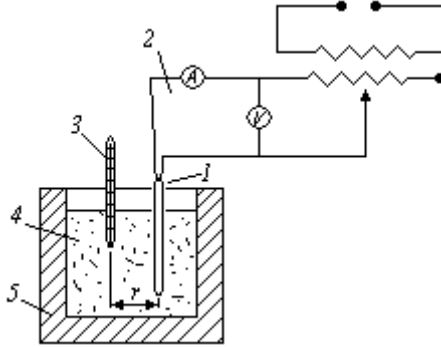


Рис. 16.1. Схема установки  
 1 – зонд; 2 – электрическая часть; 3 – термометр;  
 4 – торф; 5 – теплоизоляция

Применительно к зондовому методу решение уравнения переноса тепла и влаги получено Н.И. Гамаюновым. Избыточная температура определяется из уравнения

$$\Delta T = \frac{q \cdot R}{2\lambda} \left( \ln \frac{4 \cdot \alpha \cdot t}{r^2} - \frac{\varepsilon \cdot \rho \cdot \delta}{C} \cdot \frac{\alpha'}{\alpha - \alpha'} \cdot \ln \frac{\alpha'}{\alpha} - C \right),$$

где  $\Delta T = [T(r, t) - T_o]$  – избыточная температура;

$T(r, t)$  – текущее значение температуры в точке  $r$  при времени  $t$ ;

$T_o$  – начальная температура;

$q$  – поток тепла с единицы поверхности зонда;

$R$  – радиус зонда;

$r$  – расстояние от оси зонда до термометра;

$\delta$  – термоградиентный коэффициент, 1/град;

$\varepsilon$  – критерий фазового превращения – отношение потока влаги, переносимой в виде пара, ко всему потоку;

$\rho$  – удельная теплота испарения;

$\alpha'$  – коэффициент теплопроводности (диффузии);

$C$  – постоянная Эйлера, равная 0,577.

Если перенос идет только в виде жидкости, то  $\varepsilon = 0$  и уравнение запишется

$$\Delta T = \frac{q \cdot R}{2 \cdot \lambda} \left( \ln \frac{4 \cdot \alpha \cdot t}{r^2} - 0,577 \right),$$

или

$$\Delta T = \frac{q \cdot R}{2 \cdot \lambda \cdot 0,434} \cdot \lg \frac{4 \cdot \alpha}{r^2} + \frac{q \cdot R}{2 \cdot \lambda \cdot 0,434} \cdot \lg t - \frac{q \cdot R}{2 \cdot \lambda} \cdot 0,577.$$

Если принять, что

$$\frac{q \cdot R}{2 \cdot \lambda \cdot 0,434} = K,$$

а

$$\frac{q \cdot R}{2 \cdot \lambda \cdot 0,434} \cdot \lg \frac{4 \cdot \alpha}{r^2} - \frac{q \cdot R}{2 \cdot \lambda} \cdot 0,577 = B,$$

то

$$\Delta T = K \cdot \lg t + B.$$

Это уравнение в координатах  $\Delta T - \lg t$  представляет собой прямую. Из графика (рис. 16.2)

$$K = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\lg t_2 - \lg t_1}.$$

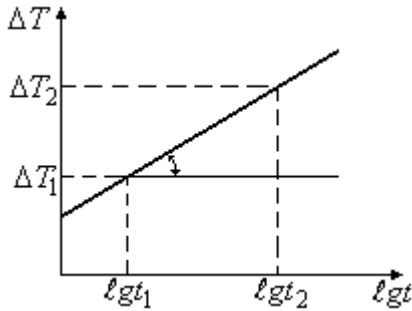


Рис. 16.2. Зависимость избыточной температуры от  $lg$  времени  $t$

По найденному значению  $K$  находят  $\lambda$

$$\lambda = \frac{q \cdot R}{2 \cdot 0,434 \cdot K}$$

Поток тепла с единицы поверхности зонда в единицу времени можно найти

$$q = \frac{l \cdot U}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot \ell} \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}),$$

где  $l$  – ток в цепи, А;

$U$  – напряжение, В;

$\ell$  – длина погруженной в торф части зонда, м.

Окончательно

$$\lambda = \frac{l \cdot U}{4 \cdot \pi \cdot 0,434 \cdot \ell \cdot K} = 0,183 \cdot \frac{l \cdot U}{\ell \cdot K} \text{ Дж}/(\text{м} \cdot \text{град}).$$

По известной  $\lambda$  и любому значению  $\Delta T$  из рис. 16.2 рассчитывается  $\alpha$  по уравнению

$$lg \alpha = \frac{\Delta T}{K} + 2 \cdot lg r - lg t - 0,351.$$

Если  $r$  – в м, а  $t$  – в с, то  $\alpha$  имеет размерность м<sup>2</sup>/с.  
По уравнению можно рассчитать удельную теплоемкость

$$C = \frac{\lambda}{\alpha \cdot \gamma_0}$$

### Порядок выполнения работы

1. Внедрить зонд-нагреватель и термометр в образец фрезерного торфа. Измерить расстояние между ними  $r$ .
2. Включить ток в цепи зонда. Установить напряжение 7–15 В и поддерживать его постоянным в течение всего опыта.
3. Включить секундомер и через каждые 10–15 мин брать отсчет по термометру.
4. Построить график  $\Delta T = f(\lg t)$  и рассчитать по нему теплофизические коэффициенты.
5. Результаты наблюдений сводятся в табл. 16.1.

Таблица 16.1

Характеристика торфа: вид торфа \_\_\_\_\_,  
влажность начальная \_\_\_\_\_, конечная влажность \_\_\_\_\_,  
плотность начальная \_\_\_\_\_, влагосодержание \_\_\_\_\_.

№	Температура начала отсчета $T_0$ , К	Текущее значение температуры $T$ , К	Избыточная температура $T = T - T_0$	Время $t$ , с	$\lg t$	l, А	U, В

### Контрольные вопросы

1. Что такое теплопроводность?
2. Уравнение теплопроводности. От каких физических величин зависит коэффициент теплопроводности?
3. Коэффициент температуропроводности и его физический смысл.
4. Что такое удельная теплоемкость?

## Литература

1. Гамаюнов, Н.И. Зондовые методы определения коэффициентов переноса тепла и влаги в торфе / Н.И. Гамаюнов // Новые физические методы исследования торфа / Н.И. Гамаюнов [и др.]. –М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960. с. 168–179.

### Лабораторная работа № 17

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ТОРФА

### Общие сведения

**Удельной теплотой сгорания** называется количество тепла, выделяющееся при полном сгорании единицы массы торфа. Удельная теплота сгорания измеряется в кДж/кг. Для характеристики тепловой ценности сравниваемых топлив иногда используют понятие «теплоплотность». Теплоплотность – теплота сгорания единицы объема топлива (кДж/м<sup>3</sup>).

Между удельной теплотой сгорания и теплоплотностью существует зависимость

$$Q_{\gamma} = Q \cdot \gamma,$$

где  $Q_{\gamma}$  – теплоплотность, кДж/м<sup>3</sup>;

$Q$  – удельная теплота сгорания, кДж/кг;

$\gamma$  – насыпная плотность топлива, кг/м<sup>3</sup>.

Удельную теплоту сгорания торфа определяют непосредственно сжигая навеску торфа в калориметрической установке (рис. 17.1) или косвенным путем по данным элементного анализа.

Калориметрическая установка состоит из калориметра (сосуда вместимостью примерно 3 литра), калориметрической бомбы, теплоизолирующего кожуха, крышки, мешалки с электроприводом, термометра Бекмана и отсчетного устройства. Основной частью установки является калориметрическая бомба, представляющая собой толстостенный цилиндрический сосуд, изготовленный из кис-

лотоупорной стали, закрывающийся сверху герметически навинчивающейся крышкой.

Для сжигания торф измельчают до крупности частиц не более 0,25 мм, берут навеску 1–1,5 г и вместе с запальной проволочкой известной массы прессуют в брикетик. При помощи запальной проволочки брикетик в бомбе подвешивается над чашечкой к электродам. Бомбу заполняют кислородом до давления 2,5 МПа и устанавливают в калориметр, заполненный дистиллированной водой.

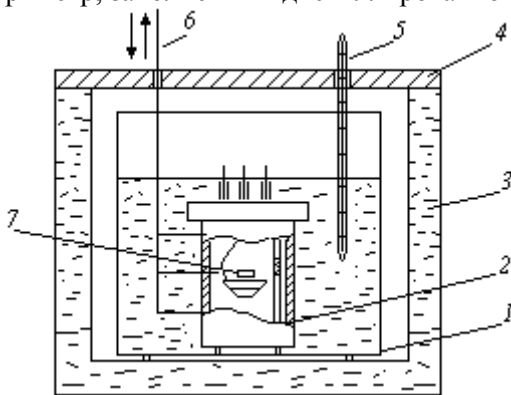


Рис. 17.1. Схема калориметрической установки:  
 1 – калориметрический сосуд; 2 – калориметрическая бомба;  
 3 – теплоизолирующий кожух; 4 – крышка; 5 – термометр;  
 6 – мешалка с электроприводом; 7 – брикетик торфа

Затем подсоединяют электроды к источнику электрического тока и включают мешалку. Сжигание торфа в бомбе производят путем замыкания электрической цепи, в которую включена запальная проволочка. Тепло, выделяющееся при сгорании торфа, улавливается водяным калориметром. По повышению температуры воды в калориметре и тепловому балансу рассчитывают удельную теплоту сгорания анализируемой навески торфа.

Вычисление результатов калориметрического опыта производят по формуле

$$Q_a^\alpha = \frac{KH[(T + h) - (T_o + h_o) + \Delta T] - \hat{a} \cdot q}{m},$$



где  $Q_{\alpha}^{\alpha}$  – удельная теплота сгорания аналитической пробы торфа по бомбе, Дж/кг;

$K$  – водное значение (эквивалент) калориметрической установки, кг;

$T$  – конечная температура главного периода, К;

$T_0$  – начальная температура главного периода, К;

$h$  – поправка на калибр термометра при температуре  $T$ , К;

$h_0$  – поправка на калибр термометра при температуре  $T_0$ , К;

$H$  – значение градуса (при работе с термометром Бекмана);

$\Delta C$  – поправка на теплообмен калориметрической установки с окружающей средой, К;

$v$  – масса сгоревшей части запальной проволоки, кг;

$q$  – удельная теплота сгорания запальной проволоки, Дж/кг;

$m$  – масса аналитической навески торфа, кг.

Удельную теплоту сгорания запальной проволоки принимают в зависимости от материала, из которого она изготовлена:

стальная проволока . . . . . 6,70 МДж/кг

никелинования проволока . . . . . 3,24 МДж/кг

константовая проволока . . . . . 3,14 МДж/кг

медная проволока . . . . . 2,51 МДж/кг

Водное значение (эквивалент) калориметрической установки  $K$  (масса воды, имеющая теплоемкость, эквивалентную теплоемкости калориметра, находящейся в нем воды, калориметрической бомбы с ее содержанием, мешалки и термометра) определяют опытным путем, сжигая в бомбе навеску вещества с известной удельной теплотой сгорания. Величину  $K$  можно ориентировочно определить по уравнению

$$K = M \cdot C,$$

где  $M$  – масса воды в калориметре, кг;

$C$  – удельная теплоемкость воды, равная 4,19 МДж/кг.

Расчетная формула  $Q_{\alpha}^{\alpha}$  упрощается при графическом методе определения величины  $\Delta C$ . По этому методу по данным наблюдений строят график изменения температуры во времени  $T = f(t)$  и выделяют на нем три периода (рис. 17.2).

- начальный  $AB$ , от начала наблюдения до момента зажигания пробы. Этот период учитывает теплообмен калориметрической системы с окружающей средой в условиях начальной температуры опыта, которая здесь повышается незначительно;
- главный  $BC$ , продолжающийся от момента зажигания пробы до ее полного сгорания, передачи всего тепла калориметру и выравнивания температуры всех частей установки;
- конечный  $CD$ , служащий для учета теплообмена калориметрической системы с окружающей средой с понижением температуры.

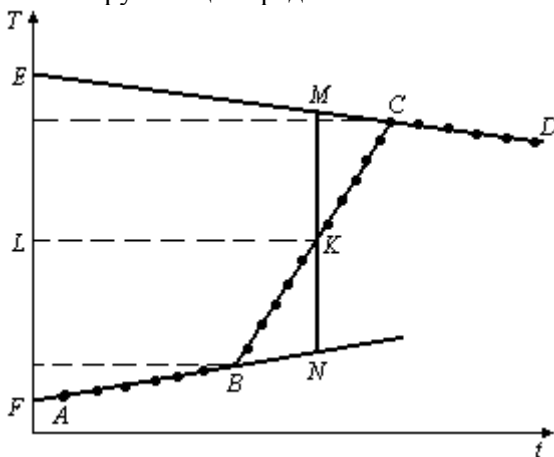


Рис. 17.2. График изменения температуры  $T$  во времени  $t$

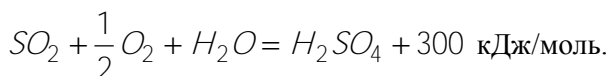
Из графика определяют разность между максимальной температурой после сжигания пробы и температурой в начале опыта с учетом внешнего теплообмена. Для этого на графике продолжают участки  $AB$  и  $CD$  до пересечения с осью ординат. Отрезок  $EF$  делят пополам и через точку  $L$  проводят прямую, параллельную оси абсцисс до пересечения с прямой  $BC$  главного периода. Через точку  $K$  проводят прямую, параллельную оси ординат до пересечения с продолжением прямых  $CD$  и  $AB$  в точках  $M$  и  $N$ . Отрезок  $MN$  представляет собой разность температур  $\Delta C$ , учитывающей теплообмен калориметрической системы с окружающей средой в условиях начального и конечного периодов эксперимента.

Расчет удельной теплоты сгорания аналитической пробы торфа по бомбе  $Q_{\hat{a}}^{\alpha}$  проводят по формуле

$$Q_{\hat{a}}^{\alpha} = \frac{K \cdot \Delta O - q \cdot \hat{a}}{m}$$

Количество тепла, образующегося в бомбе при сгорании навески всегда больше по сравнению с тем, что выделяется в топке при сгорании торфа. Это связано с тем, что в бомбе имеют место дополнительные выделения тепла за счет кислотообразования и конденсации паров воды.

Количество тепла, выделяемого при сгорании единицы массы торфа в бомбе, за вычетом теплоты кислотообразования называется **высшей удельной теплотой сгорания**  $Q_{\hat{a}}^{\alpha}$ . При сгорании серы, входящей в торф, образуется газ  $SO_2$ , который в бомбе окисляется до  $SO_3$ , причем серный ангидрид, растворяясь в воде, образует серную кислоту с выделением тепла. Следовательно, в бомбе происходит дополнительное тепловыделение за счет реакции



В расчете на 1 кг серы тепловыделение составит  $300 \cdot 10^3/32 = 9400$  кДж или на 1 % содержания серы  $S^{\alpha}$  в аналитической навеске тепловыделение будет равно 9400 кДж (здесь  $S^{\alpha}$  в %). Кроме того, в бомбе также происходит частичное окисление азота с образованием азотной кислоты. При этом принято допущение, что чем выше температура сгорания топлива, тем больше образуется  $HNO_3$ . Поэтому дополнительное тепловыделение, связанное с образованием  $HNO_3$ , условно считают пропорциональным  $Q_{\hat{a}}^{\alpha}$ . Коэффициент пропорциональности, найденный по усредненным опытным данным, для торфа равен 0,0015. Таким образом, аналитическая удельная теплота сгорания торфа рассчитывается по формуле

$$Q_{\bar{a}}^{\alpha} = Q_{\bar{a}}^{\alpha} - (94 \cdot S^{\alpha} + 0,0015 \cdot Q_{\bar{a}}^{\alpha}) \text{ кДж/кг.}$$

Высшую аналитическую удельную теплоту сгорания пересчитывают на высшую рабочую удельную теплоту сгорания торфа  $Q_{\bar{a}}^{\delta}$

$$Q_{\bar{a}}^{\rho} = Q_{\bar{a}}^{\alpha} \cdot \frac{100 - W^{\rho}}{100 - W^{\alpha}},$$

где  $W^{\rho}$  – рабочая влажность торфа, %;

$W^{\alpha}$  – влажность аналитической пробы торфа, %.

Тепловая ценность топлива характеризуется нижней или полезной удельной теплотой сгорания  $Q_f^{\rho}$  рабочего топлива натуральной или условной влажности. Низшая удельная теплота сгорания – теплота, которая реализуется в топке. При сжигании топлива продукты его сгорания выбрасываются в атмосферу при таких температурах, при которых водяные пары практически полностью остаются в газовой фазе. Поэтому тепловой эффект сжигания топлива получается меньше высшей удельной теплоты сгорания на величину тепловыделения при конденсации паров воды. Общее количество паров воды, образующееся при сгорании 1 кг топлива равно сумме содержащейся в топливе воды  $W/100$  и воды, образующейся от сжигания водорода топлива. Последнее будет равно  $9H/100$ , так как из 1 кг водорода образуется 9 кг воды. Удельную теплоту конденсации водяного пара округленно принимают равной 2500 кДж или в расчете на 1 % образовавшейся воды 25 кДж.

Таким образом, количество тепла, выделяемого единицей массы торфа, с поправкой на кислотообразование, за вычетом теплоты парообразования называется **нижней рабочей удельной теплотой сгорания**  $Q_f^{\rho}$  и определяется по формуле

$$Q_f^{\rho} = Q_{\bar{a}}^{\rho} - 25 \cdot (W^{\rho} + 9H^{\rho}),$$

где  $f^{\delta}$  – содержание водорода в рабочем топливе, %

$$f^{\delta} = \frac{f^{\bar{a}}[100 - (W^{\rho} + A^{\rho})]}{100},$$

где  $f^{\bar{a}}$  – содержание водорода в горючей массе торфа, принимаемое равным 6 %;

$A^{\delta}$  – рабочая зольность торфа.

Тепловая ценность торфа иногда характеризуется удельной теплотой сгорания сухого вещества или горючей массы.

Высшую  $Q_{\bar{a}}^c$  и низшую  $Q_f^{\bar{n}}$  удельную теплоту сгорания сухого вещества торфа вычисляют по формулам

$$Q_{\bar{a}}^c = \frac{Q_{\bar{a}}^{\alpha} \cdot 100}{100 - W^{\alpha}}$$

и

$$Q_f^c = Q_{\bar{a}}^c - 225 \cdot H^c,$$

где  $H^c$  – содержание водорода в сухом веществе торфа, %.

Высшую  $Q_{\bar{a}}^{\bar{a}}$  и низшую  $Q_f^{\bar{a}}$  удельную теплоту сгорания горючей массы торфа рассчитывают по формулам

$$Q_{\bar{a}}^{\bar{a}} = \frac{Q_{\bar{a}}^{\alpha} \cdot 100}{100 - (W^{\alpha} + A^{\alpha})}$$

и

$$Q_f^{\bar{a}} = Q_{\bar{a}}^{\bar{a}} - 225.$$

Кроме прямого определения калориметрическим методом удельная теплота сгорания торфа может быть рассчитана по данным его элементного анализа. Из многочисленных эмпирических формул в нашей стране наибольшее применение получила формула Д.И. Менделеева. Для высшей удельной теплоты сгорания она имеет вид

$$Q_{\bar{a}} = 339 \cdot C + 1258 \cdot H - 109 \cdot (O - S) \text{ кДж/кг,}$$

где  $C$ ,  $H$ ,  $O$ ,  $S$  – содержание в топливе соответственно углерода, водорода, кислорода и серы, %.

Коэффициенты, входящие в формулу, были получены Д.И. Менделеевым путем обработки опытных данных, относящихся к различным органическим веществам: углероду, клетчатке, каменным углям, нефтепродуктам.

Может быть использована и формуле Г.Ф. Кнорре, которая для торфа имеет вид

$$Q_{\bar{a}} = 372 \cdot C + 1120 \cdot H - 139 \cdot O \text{ кДж/кг.}$$

Эти формулы могут быть отнесены к любой из расчетных масс топлива (рабочей, сухой или горючей) и применяются для приближенных расчетов удельной теплоты сгорания торфа.

**Целью данной работы** является освоение калориметрического метода определения удельной теплоты сгорания торфа.

**Аппаратура:** калориметрическая установка с принадлежностями к ней; весы аналитические; весы технические на 5 кг; термометр на 373 К; секундомер; комплект аппаратуры для определения влажности ускоренным методом; химические стаканы на 500 см<sup>3</sup>; пипетка на 10 см<sup>3</sup>; промывалка.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с устройством калориметрической установки.
2. Запальную проволочку длиной 8 см взвесить на аналитических весах с точностью до  $\pm 0,0002$  г, вставить ее во вкладыш матрицы ручного пресса, вкладыш поместить в матрицу.
3. Специальным пробоотборником взять навеску воздушно-сухого торфа, засыпать ее в матрицу ручного пресса и вместе с запальной проволочкой спрессовать в брикетик.

4. Взвесить на аналитических весах тару  $M_T$  (листок кальки), затем брикетик с запальной проволокой и тарой  $M_{\bar{a}} + l_{\bar{i}} + l_T$ .

5. Снять с бомбы крышку. Подвесить брикетик над чашечкой, присоединив один конец запальной проволоки к держателю чашечки, а другой – к выпускной трубке. На дно чашечки положить слой прокаленного асбеста.

6. Налить в бомбу пипеткой  $10 \text{ см}^3$  дистиллированной воды.

7. Вставить бомбу ножками в подставку с гнездами и закрутить крышку сначала от руки, а затем при помощи специального ключа.

8. Заполнить бомбу кислородом до давления 2,5 МПа.

9. Налить в калориметр  $2130 \text{ см}^3$  дистиллированной воды.

10. Установить калориметр в теплоизолирующий кожух. Поместить бомбу в калориметр. К зажимам бомбы присоединить клеммы электрического шнура. Установить мешалку и термометр с приведенным к началу шкалы столбиком ртути.

11. Закрыть крышкой кожух калориметрической установки и пустить в ход мешалку; через 300 с после пуска мешалки приступить к проведению опыта.

12. Взять отсчет по термометру и переключить секундомер, вновь пуская его. Произвести еще 5 отсчетов с интервалом между ними в 60 с. В момент последнего отсчета нажать кнопку с надписью «зажигание». Результаты наблюдений записать в табл. 17.1.

Таблица 17.1

Характеристики торфа: тип, вид, степень разложения  $R$ , аналитическая влажность  $W^{\alpha}$ , зольность на сухое вещество  $A^c$ , вид продукции. Масса запальной проволоки  $M_n$ , материал запальной проволоки, масса тары  $M_T$ , масса брикетов с проволокой и тарой  $M_{\bar{a}} + l_{\bar{i}} + l_T$ , масса тары и проволоки  $l_{\bar{i}} + l_T$ , масса торфа  $M = M_{\bar{a}} + l_{\bar{i}} + l_T - (l_{\bar{i}} + l_T)$ .

№ отсчетов	Температура, К		
	начальный период	главный период	конечный период

13. Производить отсчеты по термометру через каждые 30 с. В начале опыта, когда температура повышается быстро, отсчеты делать с точностью до 0,1, затем до 0,01 и, наконец, используя лупу, до 0,001 К.

14. После того, как температура за 30 с не изменится, произвести 6 отсчетов с точностью до 0,001 К через каждые 60 с.

15. Остановить мешалку, поднять термометр. Извлечь из калориметра бомбу, поставить ее на подставку, отвинтить выпускной винт и вентиль и в течение 180–300 с выпустить газы. Затем при помощи ключа отвинтить крышку бомбы. Если в бомбе имеется налет сажи, опыт бракуется.

16. Дистиллированной водой тщательно обмыть бомбу с внутренней стороны и содержимое вылить в колбу. Цилиндр и крышку бомбы протереть чистым полотенцем.

17. Выполнить расчеты, оформить и защитить работу.

### **Контрольные вопросы**

1. Сущность калориметрического метода определения удельной теплоты сгорания торфа.

2. Формула для расчета удельной теплоты сгорания аналитической навески торфа по бомбе.

3. Высшая и низшая удельная теплота сгорания торфа.

4. Расчет низшей удельной теплоты сгорания торфа на рабочее топливо, сухое вещество и горючую массу.

5. Расчет удельной теплоты сгорания торфа по его элементному составу.

### **Литература**

1. Семенский, Е.П. Технический анализ торфа / Е.П. Семенский. – М.: Недра, 1966. –232 с.

2. Белосельский, Б.С. Энергетическое топливо: учеб. пособие для вузов / Б.С. Белосельский, В.К. Соляков. – М.: Энергия, 1980. – 169 с.



## Лабораторная работа № 18

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА

#### Общие сведения

Трение, возникающее в местах контакта торфа с поверхностью различных элементов торфяных машин и механизмов, необходимо учитывать при их проектировании.

Процесс трения торфа по различным материалам – сложное явление. Следует отметить, что до настоящего времени не существует единой теории, объясняющей природу проявления сил трения.

Широко известный закон трения скольжения Амонтона-Кулона (первый закон Кулона) гласит: сила трения  $F$  пропорциональна силе нормального давления  $N$

$$F = \mu \cdot N,$$

где  $\mu$  – коэффициент трения, равный тангенсу угла наклона прямой трения к оси нормального давления (рис. 18.1).

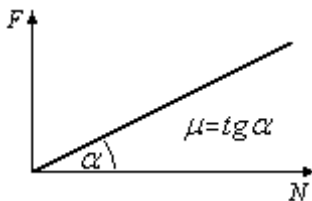


Рис. 18.1. Графическое изображение закона Амонтона-Кулона (1)

Согласно первому закону Кулона сила трения и коэффициент трения не зависят от площади соприкосновения (контакта). Однако, известно и другое выражение сил трения, полученное Кулоном (второй закон Кулона). Им было установлено, что сила трения равна сумме двух составляющих, одна из которых не зависит от нормальной нагрузки, а вторая пропорциональна ей

$$F = A + \mu \cdot N.$$

Так как в уравнении величина первого слагаемого при трении твердых тел незначительна, то им пренебрегали, и закон формулировался так, как было указано ранее. Действительное выражение второго закона Кулона было забыто и в 1940 г. как бы заново открыто Б.В. Дерягиным, который разработал наиболее современную молекулярную теорию трения. Согласно этой теории природа сил трения связана с электростатическим отталкиванием и межмолекулярным притяжением между молекулами соседних контактирующих тел. Б.В. Дерягин установил, что сила трения  $F$  пропорциональна сумме сил нормального давления  $N$  и равнодействующей электростатических сил отталкивания и межмолекулярных сил притяжения  $N_0$ , т.е.

$$F = \mu \cdot (N + N_0).$$

Записав это уравнение в виде  $F = \mu \cdot N + \mu \cdot N_0$ , и сравнив его со вторым законом Кулона, можно отметить, что  $A = \mu \cdot N_0$ .

В свою очередь

$$N_0 = R_0 \cdot S,$$

где  $R_0$  – равнодействующая сил трения, отнесенная к единице площади;

$S$  – площадь трения.

Таким образом, сила трения будет

$$F = \mu \cdot N + \mu \cdot R_0 \cdot S,$$

где  $\mu \cdot R_0 = P_0$  – тангенциальная составляющая сил трения, отнесенная к единице площади.

Окончательно уравнение Б.В. Дерягина будет иметь вид

$$F = \mu \cdot N + P_0 \cdot S.$$

Величина  $P_0 \cdot S = A$  называется силой прилипания, которая зависит от площади соприкосновения трущихся поверхностей.

Следовательно, в целом сила трения с учетом сил прилипания зависит от площади трения или от фактической площади контакта.

Графически уравнение Б.В. Дерягина представлено на рис. 18.2.

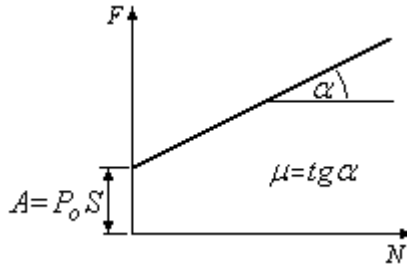


Рис. 18.2. Графическое изображение уравнения Б.В. Дерягина

При трении таких пластических тел как торф-сырец, существенное значение имеет явление прилипания торфа к поверхности другого материала. В этом случае следует использовать закон Б.В. Дерягина. Трение же сухого торфа о различные поверхности подчиняется закону Амонтона-Кулона.

Для определения коэффициента трения фрезерного торфа (и других сыпучих материалов) можно использовать прибор, схема которого представлена на рис. 18.3.

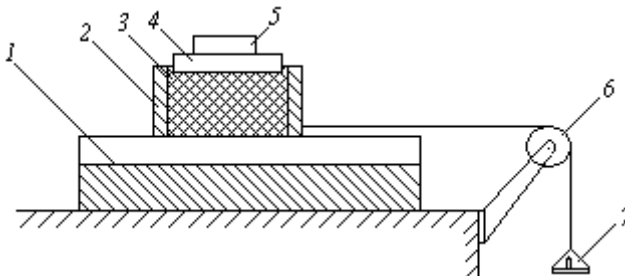


Рис. 18.3. Схема прибора для определения коэффициента трения торфа  
 1 — неподвижный желоб; 2 — подвижная рамка; 3 — торф; 4 — вкладыш;  
 5 — груз; 6 — блок; 7 — чашка для гири

Прибор состоит из неподвижного желоба 1, подвижной рамки 2, соединенной нитью, перекинутой через блок 6, с чашкой 7 для гирь. На чашку помещают груз, компенсирующий потери на трение пустой рамки о желоб. Затем в рамку 2 помещают фрезерный торф 3, на который устанавливают вкладыш 4 и груз 5. На чашку 7 постепенно добавляют груз до тех пор, пока рамка не придет в движение.

Нормальные  $\sigma$  и касательные  $\tau$  напряжения, возникающие в плоскости соприкосновения фрезерного торфа с материалом желоба, вычисляют по формулам

$$\sigma = \frac{P_1}{S} + h \cdot \gamma,$$

где  $P_1$  – нагрузка на торф (вкладыш 4 и груз 5);  
 $S$  – площадь внутреннего сечения рамки 2;  
 $h$  – высота рамки;  
 $\gamma$  – плотность фрезерного торфа.

$$\tau = \frac{P_2}{S},$$

где  $P_2$  – нагрузка, вызвавшая движение рамки 2 с фрезерным торфом.  
 По полученным значениям  $\sigma$  и  $\tau$  строят график (рис. 18.4).

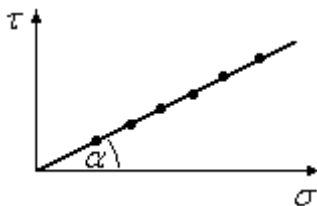


Рис. 18.4. Связь между касательным  $\tau$  и нормальным  $\sigma$  напряжениями в плоскости трения

Тангенс угла наклона прямой на графике (рис. 18.4) к оси абсцисс ( $tg \alpha$ ) соответствует среднему значению коэффициента трения фрезерного торфа о материал желоба.

**Целью данной работы** является определение статического коэффициента трения фрезерного торфа.

**Аппаратура:** прибор для определения коэффициента трения сыпучих материалов; пурка; аппаратура для определения влажности торфа ускоренным методом.

### Порядок выполнения работы

1. Подготовить прибор к работе.
2. Путем подбора найти груз, вызывающий движение пустой рамки по желобу.
3. Определить при помощи пурки плотность фрезерного торфа.
4. Засыпать в рамку фрезерный торф до верхнего торца.
5. На фрезерный торф установить вкладыш и груз 0,98 Н. Затем подобрать груз, вызывающий движение рамки.
6. Прodelать те же испытания при нагрузке на вкладыш 1,96; 2,94; 3,92 Н.
7. Рассчитать значения  $\sigma$  и  $\tau$ . Построить график  $\tau = f(\sigma)$  и по нему определить коэффициент трения  $\mu = tg \alpha$ . Результаты опытов записать в табл. 17.1.
8. Оформить и защитить работу.

Таблица 18.1

Торф: тип, вид, степень разложения, влажность, плотность.  
 Масса вкладыша, площадь рамки, высота рамки.

Материал неподвижного желоба	Нагрузка на вкладыш $P_1$ , Н	Нагрузка, вызвавшая движение рамки $P_2$ , Н	$\sigma$ , Па	$\tau$ , Па	Коэффициент трения $\mu$
	0,96				
	1,96				
	2,94				
	3,92				

## **Контрольные вопросы**

1. Что такое коэффициент трения торфа?
2. Сущность теории Б.В. Дерягина.
3. Метод определения коэффициента трения фрезерного торфа.

## **Литература**

1. Кулаков, Н.Н. Введение в физику торфа: Учеб. пособие для вузов // Н.Н. Кулаков; Под ред. М.П. Воларовича. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1947. – 228 с.
2. Дерягин, Б.В. Что такое трение? / Б.В. Дерягин. – 2-е изд. – М.: АН СССР, 1963. – 230 с.

## Лабораторная работа № 19

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ И ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА

#### Общие сведения

Диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь необходимо знать для расчета параметров распространения радиоволн, при геофизических и инженерно-геологических методах разведки, а также для разработки электрических методов контроля влажности и т.д.

#### Диэлектрическая проницаемость

Диэлектрическая проницаемость является одной из важнейших характеристик диэлектрика и связана с его основным свойством – способностью поляризоваться в электрическом поле.

Существуют два понятия – абсолютная диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon^X$  и относительная диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon$  или просто – диэлектрическая проницаемость. Связь между ними устанавливается через электрическую постоянную  $\varepsilon_0$

$$\varepsilon^X = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon.$$

Электрическая проницаемость  $\varepsilon_0$  – величина, характеризующая электрическое поле при отсутствии взаимодействия с веществом и равная отношению электрического заряда, заключенного внутри замкнутой поверхности в пустоте, к потоку вектора напряженности электрического поля сквозь эту поверхность

$$\varepsilon_0 = \frac{10^7}{4 \cdot \pi \cdot C^2} = 8,86 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м.}$$

Совершенно недопустимо называть  $\varepsilon_0$  диэлектрической проницаемостью пустоты. Диэлектрическая проницаемость пустоты равна единице, а для всех веществ она больше единицы.

Абсолютная диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon^X$  – величина, характеризующая способность диэлектрика образовывать электрическую емкость и равная отношению электрического смещения в нем  $D$  к напряженности внешнего электрического поля  $E$

$$\varepsilon^X = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon = \frac{D}{E}.$$

Для вопросов, разбираемых в нашем курсе, важно помнить, что величины смещения  $D$  в данной точке измеряется количеством электричества, которое проходит (смещается) через единицу поверхности в то время, когда устанавливается поле ( $D$  при этом меняется от 0 до конечной величины), т.е. численно  $D$  равно поверхностной плотности свободного заряда.

Размерность  $\varepsilon^X$  совпадает с размерностью  $\varepsilon_0$ .

Относительная диэлектрическая проницаемость (диэлектрическая проницаемость)  $\varepsilon$  – безразмерная величина, равная отношению абсолютной диэлектрической проницаемости к электрической постоянной

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon^X}{\varepsilon_0}.$$

Эта величина определяется экспериментально.

Величина диэлектрической проницаемости зависит в первую очередь от того, какие виды поляризации происходят в диэлектрике. В общем случае в сложном диэлектрике, к которому можно отнести фрезерный торф, могут иметь место основные виды поляризации: электронная, ионная, дипольная, структурная и внутрислойная. В зависимости от особенностей материала различные виды поляризации могут иметь больший или меньший удельный вес, а некоторые из них могут и вовсе отсутствовать. Диэлектрическая проницаемость горных пород зависит от числа поляризующихся в



единице объема частиц и от среднего коэффициента поляризуемости. Поскольку с увеличением частоты поля количество поляризующихся частиц уменьшается (отпадают наиболее медленные виды поляризации), то диэлектрическая проницаемость с повышением частоты постепенно уменьшится.

Вода принадлежит к полярным веществам с отчетливо выраженными явлениями диэлектрической релаксации. У таких веществ при возрастании частоты поля диэлектрическая проницаемость изменяется от значения  $\varepsilon_{(0)}$  при нулевой частоте  $f$  (статическая диэлектрическая проницаемость) до значения  $\varepsilon_{\infty}$  при бесконечно большой частоте (оптическая диэлектрическая проницаемость).

Диэлектрическую проницаемость сыпучих капиллярно-пористых материалов определяют, как правило, через емкость конденсатора, в электрическом поле которого находится исследуемый материал.

### Тангенс угла диэлектрических потерь

Тангенс угла диэлектрических потерь  $tg \delta$  является не менее важной характеристикой диэлектрика, чем диэлектрическая проницаемость. Если диэлектрическая проницаемость определяет склонность диэлектрика образовывать электрическую емкость, то тангенс угла диэлектрических потерь определяет, насколько эта емкость будет добротной. Добротность диэлектрика  $Q$  – безразмерная величина, характеризующая его качество, и равная отношению реактивной составляющей к активной, т.е.

$$Q = \frac{I_p}{I_{\alpha}} = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon''}.$$

Обратная величина представляет собой тангенс угла потерь

$$\frac{1}{Q} = tg \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}.$$

Угол диэлектрических потерь  $\delta$  – угол между векторами тока и его емкостной составляющей в векторной диаграмме для диэлектрика, находящегося под переменным напряжением.

В переменном поле через диэлектрик протекают реактивный и активный токи. Полный активный ток складывается из тока, обусловленного электропроводностью диэлектрика (ток сквозной утечки), и из активной составляющей поляризационного тока, т.е. тока, обусловленного релаксационной поляризацией. Если в диэлектрике имеет место замедленная (релаксационная) поляризация, то активный ток в переменном поле будет значительно превышать активный ток в постоянном поле. Поэтому в реальном диэлектрике ток опережает напряжение не на  $90^\circ$ , а на угол  $\varphi$  (рис. 9.1).

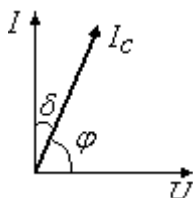


Рис. 19.1.

Угол, дополняющий сдвиг фаз между током и напряжением на участке цепи с диэлектриком до  $90^\circ$  называется углом диэлектрических потерь  $\delta$ .

Диэлектрик тем лучше, чем меньше угол  $\delta$ . Для хорошего диэлектрика  $tg\delta \ll 1$ .

Ток, обусловленный электропроводностью, от частоты не зависит, а активная составляющая релаксационного тока с изменением частоты проходит через максимум.

Параметр  $tg\delta$  характеризует ту часть электрической энергии, которая выделяется в диэлектрике в виде тепла при переменном напряжении за счет релаксационного тока.

Электрические параметры капиллярно-пористых материалов зависят от многих свойств и состояния этих материалов, в том числе от внешнего строения и структуры молекул, химического состава, механических свойств, температуры, влагосодержания и т.д.

Современная физика диэлектриков связывает зависимость  $\epsilon$  и  $tg\delta$  материалов от их свойств с основным процессом, происходящим в любом реальном диэлектрике под воздействием электрического поля – поляризацией частиц диэлектрика.

Электрические характеристики твердых материалов изменяются в функции содержания сухого вещества, воды и воздуха, заполняющего капилляры, а у дисперсных материалов – и воздуха, заполняющего пространство между частицами материала. Эти три фазы резко отличаются своими электрическими параметрами. В гетерогенных системах поляризация имеет неодинаковый характер для различных фаз и для всей системы в целом. На характеристики системы оказывает также влияние двойной электрический слой, определяемый наличием заряда на поверхности раздела между фазами, имеющими различные электрические свойства.

При оценке электрических свойств твердых материалов и жидкостей можно считать диэлектрическую проницаемость воздуха равной единице. Диэлектрическую проницаемость чистой воды при комнатной температуре в диапазоне частот  $10^5 < f < 10^7 \dots 10^8$  Гц можно считать близкой к 81. При отсутствии влаги капиллярно-пористые материалы и жидкие неполярные и слабополярные вещества имеют очень низкую диэлектрическую проницаемость и малые диэлектрические потери. Наличие влаги оказывает большое влияние на поляризацию неоднородных диэлектриков сложного состава. Поляризация при переменном токе определяет комплексную проводимость диэлектрика: реактивная составляющая последней связана с диэлектрической проницаемостью, активная – с диэлектрическими потерями.

Второе важное для нас проявление поляризации материала заключается в отчетливо выраженной зависимости их электрических параметров от частоты поля.

### **Устройство, принцип действия прибора Е9-4 и методика измерения**

В настоящей работе для измерения емкости и добротности конденсатора, заполненного фрезерным торфом, используется метод, основанный на использовании цепей с сосредоточенными параметрами с применением серийно выпускаемого измерителя добротности типа Е9-4.

Диапазон измерения емкости от 25 до 450 пф, добротности от 5 до 600 единиц. Диапазон частот измерителя добротности от 50 кГц до 35 мГц.

Измеритель добротности состоит из генератора, который может перестраиваться на работу при различной частоте; блока питания; резонансного контура, в который вводятся катушки индуктивности «L» и конденсаторы переменной емкости «C» для настройки контура в резонанс. В контур включен вольтметр «V», показывающий резонансное напряжение в контуре. Настройка контура в резонанс осуществляется путем подбора катушки индуктивности на соответствующий диапазон частот и изменением емкости переменного конденсатора контура. Резонанс определяется по максимальному отклонению стрелки вольтметра.

Конструктивно прибор Е9-4 выполнен в виде трех блоков - генераторного, измерительного и блока питания, - которые крепятся на передней панели прибора.

В левой части прибора расположен генераторный блок, в правой – измерительный блок, а в центре – блок питания.

На передней панели прибора размещены все ручки управления, а также стрелочные приборы:  $Q$ -вольтметр вверху и вольтметр уровня внизу.

На верхней панели прибора расположены клеммы «L<sub>x</sub>» для подсоединения вспомогательной катушки индуктивности и клеммы «C<sub>x</sub>» для подсоединения конденсатора с исследуемым материалом.

На задней стенке прибора расположена клемма «земля», служащая для заземления прибора. Питание прибора осуществляется от сети 50 Гц напряженностью 220 В.

**Целью данной работы** является освоение метода измерения емкости и добротности конденсатора, заполненного фрезерным торфом, с помощью измерителя добротности Е9-4.

**Аппаратура:** измеритель добротности Е9-4; датчик; весы; аппаратура для определения влажности торфа.

### **Порядок выполнения работы**

1. Включить шнур питания прибора в сеть.
2. Переключатель «род работ» поставить в положение «измерение», ручку «уровень» – в крайнее левое положение.
3. Включить прибор тумблером «сеть».

4. Прибор прогреть в течение 15 мин.
  5. Переключатель «шкала» поставить в положение «60», переключатель «род работ» в положение «уст. нуля».
  6. Ручками «уст. нуля» установить нули ламповых вольтметров.
  7. Перевести переключатель «род работ» в положение «калибровка».
  8. Ручкой «уст. нуля» установить стрелку вольтметра «уровень» на красную риску, а потенциометром с гравировкой «60», ручка которого выведена под шлиц на переднюю панель, установить стрелку  $Q$ -вольтметра на риску «60».
  9. Для контроля повторить операцию установки нуля и калибровку.
  10. Повторить пункты 5–8 для установки нуля и калибровки шкал «200» и «600», регулируя соответственно потенциометры с гравировкой «200» и «600».
  11. Поставить переключатель «род работ» в положение «измерение» и прибор готов к работе.
  12. К клеммам « $L_x$ » подсоединить вспомогательную катушку индуктивности для диапазона частот  $f_i$ , а к клеммам « $C_x$ » подсоединить исследуемый конденсатор, заполненный торфом с влажностью  $W$ , установить частоту  $f$ , а переключатель «диапазоны» в положение «60».
- Ручкой «емкость» настроить контур куметра в резонанс, т.е. добиваться максимального отклонения стрелки  $Q$ -вольтметра.
- Значения частоты  $f$ , добротности  $Q_1$ , резонансной емкости  $C_1$  записать в табл. 19.1.

Таблица 19.1

Влажность торфа $W$ , %	Частота $f$ , кГц	$C_1$	$C_2$	$C_x$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_x$	$\varepsilon$	$tg\delta$

13. Отключить исследуемый конденсатор от клемм  $C_x$ , увеличивая емкость измерительного конденсатора ручкой «емкость» вторично настроить контур в резонанс при той же рабочей частоте.

Полученные значения  $C_2$  и  $Q_2$  записать в таблицу.

14. Пункты 12 и 13 выполнить при частотах  $f_1, f_2, f_3$ , при заполнении исследуемого конденсатора фрезерным торфом с 4 различными влажностями (по указанию преподавателя). Соответствующие значения  $f, Q_1, C_1, Q_2, C_2$  записать в таблицу.

15. Рассчитать на выбранных частотах  $f_1, f_2, f_3$  для каждого значения влажности:

а) емкость исследуемого конденсатора

$$C_x = C_2 - C_1,$$

где  $C_1$  – показание измерительного конденсатора при подключенном образце в параллельной схеме включения;

$C_2$  – показание того же конденсатора при отключенном образце;

б) добротность конденсатора

$$Q_x = \frac{(C_2 - C_1) \cdot Q_1 \cdot Q_2}{C_2 \cdot (Q_2 - Q_1)};$$

в) тангенс угла диэлектрических потерь фрезерного торфа

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{Q_x};$$

г) диэлектрическую проницаемость фрезерного торфа

$$\varepsilon = \frac{C_x \cdot d}{\varepsilon_0 \cdot S},$$

где  $d$  – расстояние между обкладками конденсатора, м;

$S$  – площадь пластины конденсатора, м<sup>2</sup>;

$C_x$  – емкость образца, Ф;

$\varepsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$ , Ф/м.

16. Построить графики зависимостей:

–  $\varepsilon = F(\omega)$  и  $tg\delta = F(\omega)$  на выбранных частотах;

–  $\varepsilon = F(f)$  и  $tg\delta = F(f)$  для исследованных влажностей.

### Контрольные вопросы

1. Что называется относительной диэлектрической проницаемостью?

2. От чего зависит относительная диэлектрическая проницаемость торфа и как она определяется?

3. Что характеризует собой тангенс угла диэлектрических потерь  $tg\delta$ ?

### Литература

1. Грохольский, А.Л. Измерители добротности – куметры / А.Л. Грохольский. – Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1966. – 259 с.

## Содержание

Введение. . . . .	3
Лабораторная работа № 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ В ТОРФЕ. . . . .	4
Лабораторная работа № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛЬНОСТИ ТОРФА УСКОРЕННЫМ МЕТОДОМ. . . . .	13
Лабораторная работа № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЗОЛЫ ТОРФА. . . . .	17
Лабораторная работа № 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДА ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ ТОРФА. . .	26
Лабораторная работа № 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОТНОСТИ ТОРФА ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ. . . . .	29
Лабораторная работа № 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ СУХОГО ВЕЩЕСТВА ТОРФА ПИКНОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ. . . . .	32
Лабораторная работа № 7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОРФА. . . . .	37
Лабораторная работа № 8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ МЕЛКОКУСКОВОГО ТОРФА И ТОРФЯНЫХ БРИКЕТОВ. . . . .	41
Лабораторная работа № 9 ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ВЛАГОПОГЛОЩЕНИЯ ТОРФА. . . . .	45
Лабораторная работа № 10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СВЯЗАННОЙ ВОДЫ В ТОРФЕ МЕТОДОМ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ АДСОРБЦИИ ИНДИКАТОРА (САХАРА). . . . .	51
Лабораторная работа № 11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ТОРФА ПРИ ПОМОЩИ СОКРАЩЕННОГО АНАЛИЗА. . . . .	57
Лабораторная работа № 12 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЯ ПЛАСТИЧНОСТИ И ПРЕДЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ СДВИГА ОТ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ В ТОРФЕ. . . . .	63



Лабораторная работа № 13	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ СДВИГА ТОРФА МЕТОДОМ КОНИЧЕСКОГО ПЛАСТОМЕТРА. ....	67
Лабораторная работа № 14	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПРЕССИОННЫХ СВОЙСТВ ТОРФА. ....	70
Лабораторная работа № 15	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ТОРФА МЕТОДОМ ФИЛЬТРАЦИИ МЕЧЕНОЙ ВОДЫ. ....	75
Лабораторная работа № 16	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА. ....	87
Лабораторная работа № 17	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ТОРФА. ....	94
Лабораторная работа № 18	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА. ....	104
Лабораторная работа № 19	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ И ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА. ....	110

Учебное издание

## ФИЗИКА И ХИМИЯ ТОРФА

Лабораторный практикум  
для студентов специальности 1-51 02 01  
«Разработка месторождений полезных ископаемых»  
специализации 1-51 02 01-01 02  
«Разработка торфяных месторождений»

Составители:

ГОЛОВАЧ Альберт Адамович  
КУПТЕЛЬ Георгий Александрович  
ЯЦКОВЕЦ Аркадий Иосифович

Технический редактор О.В. Дубовик

---

Подписано в печать 21.06.2010.

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 7,03. Уч.-изд. л. 5,50. Тираж 100. Заказ 605.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.