



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

**М.В. Шубина**  
**Е.С. Махоткина**

## **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ**

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве практикума*

Магнитогорск  
2018

**Рецензенты:**

кандидат технических наук, доцент,  
советник по технологической подготовке кадров  
АНО ДПО «Корпоративный центр подготовки кадров «Персонал»»

**В.Л. Корнилов**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой технологий металлургии и литейных процессов,  
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова»

**К.Н. Вдовин**

**Шубина М.В., Махоткина Е.С.**

**Методы и средства измерений и контроля** [Электронный ресурс] : практикум / Марианна Вячеславовна Шубина, Елена Станиславовна Махоткина ; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (1,65 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

Практикум по выполнению лабораторных работ составлен в соответствии с типовыми учебными программами по дисциплинам «Методы и средства измерений и контроля» и «Контрольно-измерительные процессы в отрасли» для студентов направления 27.03.01 «Стандартизация и метрология» и включает пять разделов: методы и средства измерений и контроля массы, плотности; оптические методы и средства измерений; методы и средства измерений и контроля температуры, вязкости. В каждом разделе практикума приведены общие теоретические положения по соответствующему разделу дисциплины, далее представлены лабораторные работы, которые завершаются контрольными вопросами, позволяющими студентам оценить полученные знания.

Практикум предназначен для студентов высших учебных заведений, обучающихся по образовательным программам (ОП) ФГОС ВО по направлению 27.03.01 «Стандартизация и метрология» с техническим и химическим профилями подготовки.

УДК 681

© Шубина М.В., Махоткина Е.С., 2018

© ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова», 2018

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	4
РАЗДЕЛ 1. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ МАССЫ....	5
Лабораторная работа № 1	
Средства измерений массы.....	7
РАЗДЕЛ 2. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ .....	16
Лабораторная работа № 2	
Методы и средства измерений плотности жидкости.....	16
РАЗДЕЛ 3. ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	23
Лабораторная работа № 3	
Средства измерений для фотометрического анализа (спектрофотометры).....	24
РАЗДЕЛ 4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ .....	34
Лабораторная работа № 4	
Термоэлектрические термометры - термопары.....	34
РАЗДЕЛ 5. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ ВЯЗКОСТИ .....	44
Лабораторная работа № 5	
Средства измерений вязкости веществ .....	45
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	53

## ВВЕДЕНИЕ

Практикум является важной частью комплексного освоения дисциплин «Методы и средства измерений и контроля» и «Контрольно-измерительные процессы в отрасли». Он развивает у студентов самостоятельность, способность к творческому поиску в процессе обучения и формирует обобщенные приемы исследовательской деятельности. Предлагаемый практикум позволяет научиться применять теорию на практике, приобрести навыки обращения с различными веществами и средствами измерений, проведения экспериментального исследования, а также развивает профессиональное мышление у студентов с техническим и химическим профилями подготовки стандартизаторов в вузах.

Практикум по выполнению лабораторных работ составлен в соответствии с образовательной программой (ОП) ФГОС ВО и типовыми учебными программами по дисциплинам «Методы и средства измерений и контроля» и «Контрольно-измерительные процессы в отрасли» для студентов направления 27.03.01 «Стандартизация и метрология» и включает пять разделов: методы и средства измерений и контроля массы, плотности; оптические методы и средства измерений; методы и средства измерений и контроля температуры, вязкости.

Каждый раздел практикума начинается с общих теоретических положений, в которых достаточно подробно изложены основы соответствующего раздела дисциплины, что позволит студентам осознанно выполнять лабораторные работы без привлечения дополнительных учебных материалов. После теоретической части в каждом разделе практикума представлены лабораторные работы по соответствующим темам: средства измерений массы, методы и средства измерений плотности жидкости, средства измерений для фотометрического анализа (спектрофотометры), термоэлектрические термометры – термопары, средства измерений вязкости веществ. Завершаются лабораторные работы контрольными вопросами, позволяющими студентам оценить полученные знания.

Перед описанием экспериментальной части в каждой лабораторной работе приведено краткое теоретическое введение, содержащее общие сведения, необходимые студентам для выполнения опытов и понимания их физической и физико-химической сущности, а также методика выполнения работы и обработки экспериментальных результатов. Задания и расчеты, выполняемые по ходу лабораторных работ, контрольные вопросы на знание теоретического материала позволяют приобрести навыки технологических расчетов, стимулируют творческий подход к работе, развивают у студентов научное мышление.

При оформлении отчета по выполненной лабораторной работе рекомендуется соблюдать следующую последовательность изложения материала:

- название лабораторной работы;
- цели лабораторной работы;
- краткое теоретическое введение (общие сведения);
- методика выполнения работы и обработка результатов;
- выводы.

## РАЗДЕЛ 1. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ МАССЫ

*Масса* – это физическая величина, одна из основных характеристик материи, определяющая ее инерционные и гравитационные свойства. *Вес* – это сила, с которой тело, покоящееся в поле силы тяжести, действует на горизонтальную опору. Масса тела не зависит от географического расположения тела на Земле, а вес тела зависит от величины ускорения свободного падения  $g$ , которая, в свою очередь изменяется в разных географических широтах.

Единицей массы является *килограмм*, международный эталон которого – платино-иридиевая гиря в виде цилиндра высотой и диаметром 39 мм.

Средства измерений для определения массы тел по действующей на них силе тяжести называется *весами*. *Взвешивание* – это определение массы тел с помощью весов. Высокая точность при взвешивании достигается путем учета всех возможных погрешностей весов, гирь, применяемого метода взвешивания, погрешностей от влияния внешних условий (электрические и магнитные силы, колебания температуры, влажности воздуха и др.).

Измерение массы основано на законе всемирного тяготения (гравитационное поле Земли притягивает массу с силой, пропорциональной этой массе). Силу притяжения уравновешивают известной по величине силой, создаваемой различными способами (*принципы взвешивания*):

- грузом известной массы (классический принцип, наиболее точный);
- растяжением пружины (ее удлинение – мера массы груза в пружинных весах);
- деформацией упругого элемента – тензодатчика (его деформация – мера массы груза в электротензометрических весах);
- пневматическим и гидравлическим устройствами (давление сжатого воздуха или жидкости – мера массы груза в пневматических и гидравлических весах);
- электродинамически при помощи соленоидной обмотки в постоянном магнитном поле (сила тока в обмотке – мера массы груза в электромагнитных весах);
- при погружении тела в жидкость (подъемная сила – мера массы груза в гидростатических весах).

Применяют следующие *методы взвешивания*:

- *метод сравнения с мерой*: массу груза принимают равной массе сравниваемых с ним гирь (простое прямое взвешивание) или вычисляют как сумму значений массы гирь и показаний весов (точное взвешивание);
- *метод непосредственной оценки*: определение массы груза по отсчетному устройству весов без применения гирь;
- *дифференциальный метод* (в большинстве современных лабораторных весов): большая часть измеряемой массы тела (свыше 99%) уравновешивается гирями или противовесом (нулевой метод), а оставшаяся малая разность между массой взвешиваемого тела и массой гирь измеряется по углу отклонения ко-

ромысла от исходного положения равновесия (непосредственный метод) с помощью отсчетных шкал;

- *метод двойного взвешивания (метод Гаусса)*: тело взвешивают на равноплечих рычажных весах два раза – один раз на левой чашке (масса  $M_1$ ), второй раз – на правой (масса  $M_2$ ); массу  $M$  груза находят по формуле

$$M = \frac{M_1 + M_2}{2}$$
; этот метод обеспечивает наиболее высокую точность взвешивания и применяется при сопоставлении гирь высшей точности.

Основными метрологическими характеристиками весов являются следующие:

- *пределы взвешивания* (диапазон измерений) – часть диапазона показаний шкалы, в пределах которой обеспечиваются допустимые значения погрешностей весов и осуществляется их поверка;

- *чувствительность* определяется минимальным изменением нагрузки, обеспечивающим четкое устойчивое отклонение весов;

- *предельные погрешности* – это указанные в инструкции по калибровке для данного средства измерений предельно допустимые значения погрешностей;

- *предельная нагрузка* – это наибольшая статическая нагрузка, которую могут выдержать весы без нарушения их метрологических характеристик;

- *цена деления* – это масса, соответствующая изменению показаний на одно деление шкалы;

- *допускаемая вариация (размах) показаний* – это наибольшая допускаемая разность показаний весов при неоднократном взвешивании одного и того же тела.

Основными конструктивными элементами весов являются: рычаги и шарнирные соединения; устройства корректировки нуля для установки указателя на нулевую отметку перед взвешиванием; устройство компенсации массы тары для отчета массы нетто; демпфирующие устройства для быстрого успокоения колебаний весов; измерительные преобразователи (датчики) для преобразования измеряемой величины в удобный для последующей обработки сигнал; показывающие и регистрирующие устройства в виде шкалы со стрелкой или циферблата в аналоговых устройствах, а также цифропоказывающие устройства в весах с цифровой обработкой измерительной информации и аналого-цифровыми преобразователями.

Измерительные преобразователи (датчики) являются силоизмерительными элементами и преобразуют входную величину – усилие, развиваемое взвешиваемой массой, в выходную величину – электрическую, пневматическую или гравитационную. В соответствии с этим наиболее распространены следующие электромеханические датчики веса: с тензорезисторами, магнитоупругие, индуктивные, с электромагнитной силовой компенсацией, гидравлические.

# Лабораторная работа № 1

## Средства измерений массы

**Цели работы:** изучение методики периодической поверки весов и экспериментальное определение метрологических характеристик весов без исключения погрешности округления цифровой индикации.

### 1. Общие сведения

В зависимости от назначения весы делятся на образцовые для поверки гирь, лабораторные (в том числе и аналитические) и общего назначения.

*Лабораторные весы* имеют небольшие пределы взвешивания (до 50 кг), и выполняются в виде рычажных, автоматических с двумя призмными опорами или электронных весов. В лабораторных весах предусмотрено электрическое выходное устройство для выдачи результата измерений в виде аналогового или цифрового сигнала. В весах с *цифровым отсчетом* применяется система регулирования на основе электромагнитной силовой компенсации. Чаша таких весов соединена рычагом с сердечником компенсационной катушки (соленоида), находящейся в поле постоянного магнита. Изменение нагрузки в чаше весов приводит к изменению силы тока в обмотке катушки за счет втягивания железного сердечника, соединенного с рычагом чаши, в неподвижный соленоид. Сила тока в соленоиде регулируется электронным устройством, приводящим весы к равновесию, и является мерой массы груза.

*Весы типа ВК-300* являются лабораторными электронными весами с цифровым отсчетом результата измерений и предназначены для статических измерений массы веществ и материалов на предприятиях и в научно-производственных лабораториях. Весы изготавливаются в соответствии с ГОСТ 24104-2001 «Весы лабораторные. Общие технические требования» высокого II класса точности. Нормальные условия эксплуатации весов: температура окружающей среды от +10 до + 40 °С, относительная влажность воздуха от 30 до 80 %.

Основные метрологические характеристики весов приведены в табл. 1.1: наибольший и наименьший пределы взвешивания (*НПВ* и *НмПВ*), дискретность отсчета (*d*), цена поверочного деления (*e*), размах показаний весов при поверке ( $R_n$ ), среднее квадратическое отклонение (СКО  $\sigma_n$ ) и пределы допустимой погрешности ( $\Delta_n$ ) при поверке.

Весы ВК-300 могут осуществлять взвешивание в следующих режимах: обычное взвешивание; взвешивание груза в таре; определение массы части груза (в %) от общей массы груза (процентное взвешивание); в счетном режиме для определения количества взвешиваемых однородных изделий; подсчет суммарной массы грузов при нескольких последовательных взвешиваниях.

Таблица 1.1

Основные метрологические характеристики весов ВК-300

$N_{ПВ}$ , г	$N_{мПВ}$ , г	$d$ , г	$e$ , г	Интервалы взвешивания, г	$R_n$ , г	СКО $\sigma_n$ , г	$\Delta_n$ , г
300	0,1	0,005	0,01	От 0,1г до 50г включительно	0,02	0,003	$\pm 0,01$
				Свыше 50г до 200г включительно			$\pm 0,02$
				Свыше 200г до 300г включительно			$\pm 0,03$

Основные конструктивные элементы весов приведены на рис. 1.1.

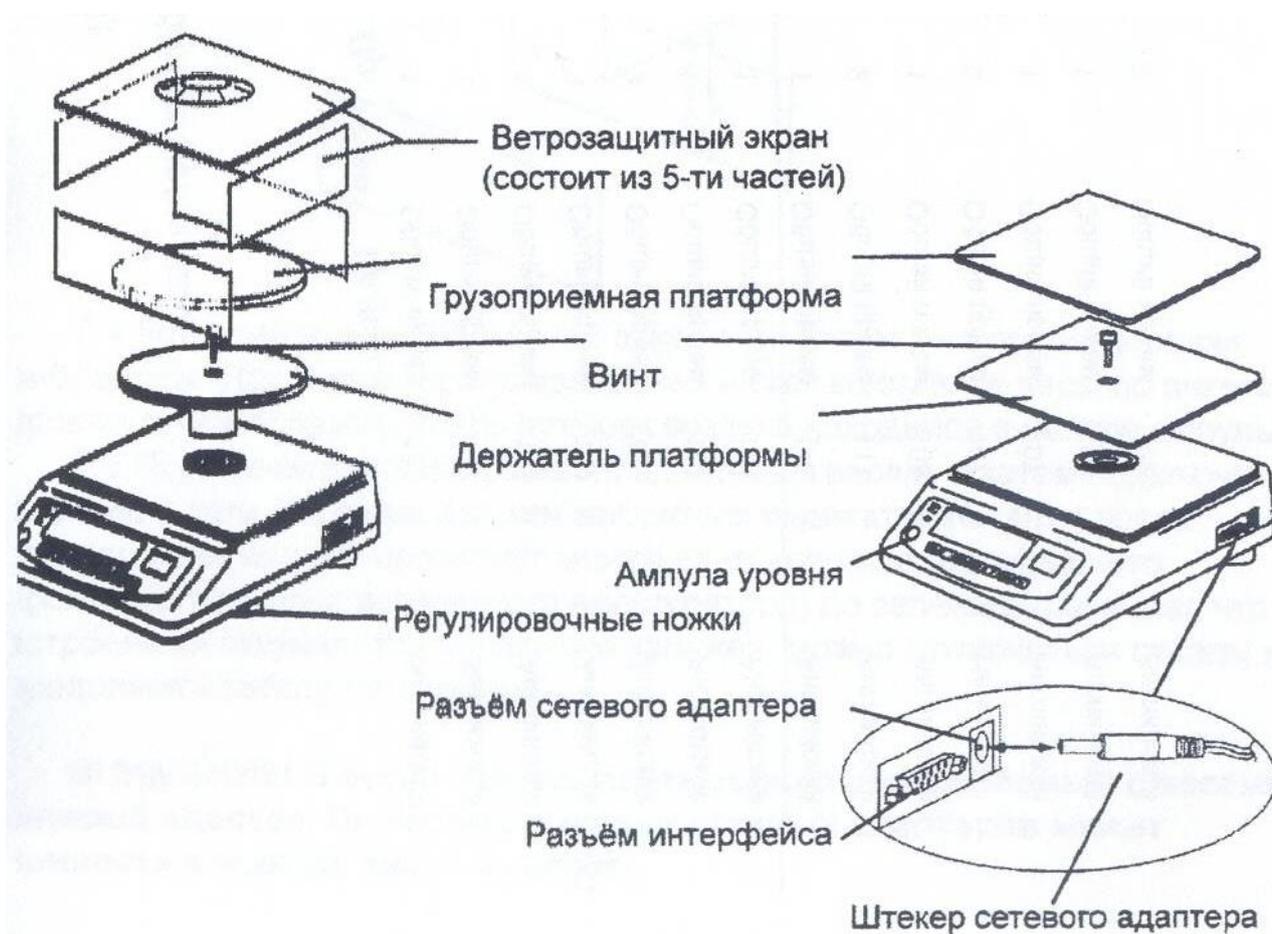


Рис. 1.1. Элементы конструкции весов ВК-300

Назначение основных кнопок и индикаторов весов ВК-300 приведено на рис. 1.2.

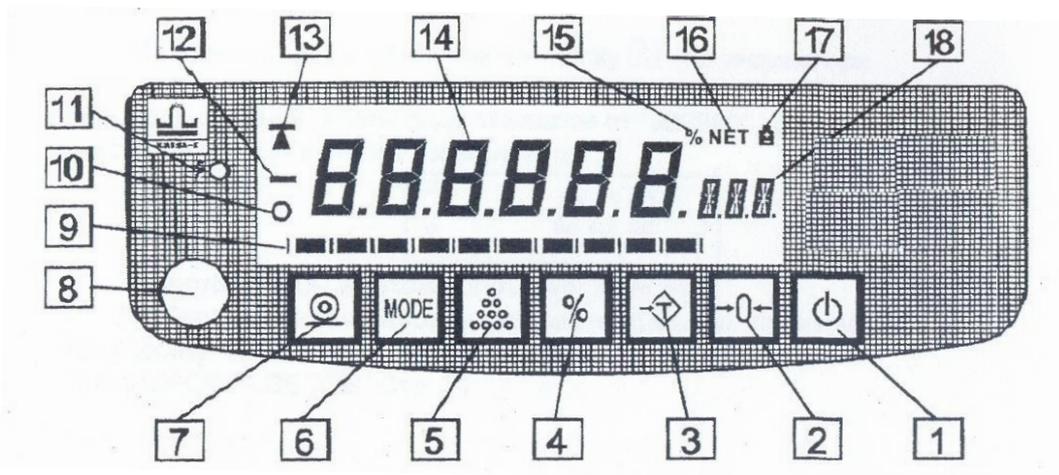


Рис. 1.2. Кнопки и индикаторы лицевой панели весов ВК-300:

- 1 – кнопка включения – выключения весов; 2 – кнопка НОЛЬ для установки нуля весов; 3 – кнопка ТАРА для выборки массы тары;
- 4 – кнопка ПРОЦЕНТ для перехода в режим процентного взвешивания;
- 5 – кнопка ШТУЧНОГО ВЗВЕШИВАНИЯ для перехода в счетный режим;
- 6 – кнопка MODE для выбора единицы измерения; 7 – кнопка ПЕЧАТЬ для суммирования масс грузов или для передачи информации через порт;
- 8 – ампула уровня; 9 – индикационная шкала нагрузки весов; 10 – индикатор установки ненагруженных весов на нуль; 11 – индикатор питания от сети;
- 12 – МИНУС для отражения отрицательной массы; 13 – индикатор стабилизации массы; 14 – индикатор массы груза; 15 – индикатор для режима процентного взвешивания; 16 – индикатор для режима тарирования;
- 17 – индикатор разрядки аккумулятора; 18 – индикатор единицы измерения массы

Для контроля технического состояния весов ВК-300 при эксплуатации осуществляют их *периодические поверки*, включающие внешний осмотр и определение метрологических характеристик без исключения погрешности округления цифровой индикации (методика поверки приведена в п.3 лабораторной работы). Поверка проводится при нормальных условиях потоков и вибраций, с применением эталонных (образцовых) гирь 3-го разряда в соответствии с ГОСТ 8.021-2005 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений массы» (гири класса точности F2\* по ГОСТ 7328-2001 «Гири. Общие технические условия»).

## 2. Используемое оборудование

Для выполнения лабораторной работы используются лабораторные электронные весы ВК – 300, калибровочные гири массой 200 г, образцовые гири массой 0,1 г, 20 г, 50 г и 100 г, входящие в комплекты разновесов.

### **3. Порядок выполнения работы и обработка результатов**

Определение метрологических характеристик весов без исключения погрешности округления цифровой индикации выполняют при периодической поверке весов ВК – 300.

#### 3.1. Определение погрешности весов при центрально-симметричном положении нагрузки на грузоприемной платформе

Определение проводят путем постепенного нагружения весов гирями от НмПВ до НПВ и последующего разгружения их до НмПВ. Гири устанавливают на грузоприемную платформу симметрично относительно ее центра. Используются не менее 5 значений нагрузок, делящих равномерно диапазон измерений. Показания весов считывают, дождавшись их стабилизации.

1. Установить нулевые показания на дисплее весов и провести их постепенное нагружение, помещая последовательно на грузоприемную платформу гири заданной массы и считывая показания весов после добавления очередной массы.

Порядок добавления заданных масс на весы: 1 – 0,1 г; 2 – 50 г; 3 – 50 г; 4 – 100 г; 5 – одновременно 50, 20 и 20 г.

2. Провести постепенное разгружение весов, снимая с платформы заданные массы в обратном порядке и считывая показания весов после снятия очередной массы.

Порядок (обратный) снятия заданных масс с весов: 4 – одновременно 50, 20 и 20 г; 3 – 100 г; 2 – 50 г; 1 – 50 г.

3. Результаты по соответствующим номерам измерений (кроме № 5 при убывающей нагрузке) занести в Протокол (табл. 3.1).

4. Рассчитать погрешность весов при каждой проверяемой нагрузке (при возрастании и убывании) по формуле

$$\Delta = I - L, \quad (1)$$

где  $I$  – показания весов, г

$L$  – действительное значение массы образцовых гирь, установленных на весы, г.

Результаты расчетов погрешности занести в Протокол (табл. 3.1) и, сравнив с пределами допускаемой погрешности весов, сделать заключение об их соответствии (не соответствии).

#### 3.2. Определение погрешности весов при нецентральной позиции нагрузки на грузоприемной платформе

1. Грузоприемную платформу весов условно разделить на четыре равные части, как показано на рис. 3.1.

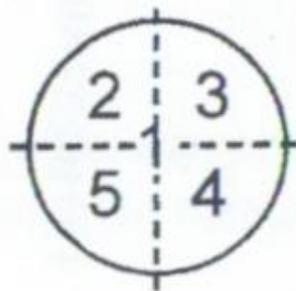


Рис. 3.1. Схема условного разделения грузоприемной платформы на четыре равные части

2. Установить нулевые показания на дисплее весов, поместить в центр платформы (положение 1 на рис. 3.1) гирию массой 100 г (т.е. 1/3 от НПВ), считать показания и убрать гирию с весов.

3. Выполнить п. 2, помещая последовательно гирию массой 100 г в центр каждой части платформы (см. позиции на рис. 3.1) и считывая показания весов.

4. Рассчитать погрешность весов для каждого размещения гири согласно позициям на рис. 3.1 по формуле (1).

5. Результаты измерений и расчетов занести в Протокол (табл. 3.2) и, сравнив значения погрешности с пределами допускаемой погрешности весов для нагрузки 100 г, сделать заключение об их соответствии (не соответствии).

### 3.3. Определение погрешности весов после выборки массы тары

Определение проводят при центрально-симметричном нагружении и разгрузке весов при двух различных значениях массы тары (30 % и 70 % от НПВ). Значения выбранных нагрузок должны приближаться к НмПВ и к наибольшему возможному значению массы нетто так, чтобы суммарная масса тары и нагрузки не превышала НПВ весов.

1. Установить нулевые показания на дисплее весов и поместить на платформу гирию массой 100 г, равной первому значению массы тары (~ 30 % от НПВ).

2. Произвести выборку массы тары, нажав кнопку , после чего на дисплее отобразится индикатор **NET** и установятся нулевые показания.

3. Далее определить погрешность весов для 5 нагрузок нетто по методике, изложенной в разделе 3.1, применяя следующий порядок добавления заданных масс на весы: 1 – 0,1 г; 2 – 50 г; 3 – 50 г; 4 – 50 г; 5 – 20 г; а также следующий порядок (обратный) снятия заданных масс с весов: 4 – 20 г; 3 – 50 г; 2 – 50 г; 1 – 50 г.

4. Результаты по соответствующим номерам измерений (кроме № 5 при убывающей нагрузке) занести в Протокол (табл. 3.3).

5. Рассчитать погрешность весов при каждой проверяемой нагрузке (при возрастании и убывании) по формуле (1).

6. Снять груз с платформы весов и обнулить показания индикатора кнопкой .

7. Аналогично п.п. 1 – 6 определить погрешность весов при втором значении массы тары – 200 г (~ 70 % от НПВ), добавляя заданные массы на весы в следующем порядке: 1 – 0,1 г; 2 – 20 г; 3 – 20 г; 4 – 20 г; 5 – 20 г; а также снимая заданные массы с весов в следующем порядке (обратном): 4 – 20 г; 3 – 20 г; 2 – 20 г; 1 – 20 г.
8. Сравнить результаты расчетов погрешности с пределами допускаемой погрешности весов (см. Протокол, табл. 3.3) и сделать заключение об их соответствии (не соответствии).

### 3.4 Определение размаха и среднего квадратического отклонения (СКО) результатов измерений

Определение проводят при нагрузках, близких к 50 % от НПВ или НПВ, не менее 6 измерений в каждой серии.

1. Установить нулевые показания на дисплее весов, поместить в центр платформы одновременно гири массой 100 и 50 г (~ 50 % от НПВ), снять показания, убрать гири и обнулить показания весов.
2. Провести измерения по п. 1 не менее 6 раз и результаты занести в Протокол (табл. 3.4).
3. Выполнить п.п. 1-2, помещая в центр платформы одновременно гири массой 100 г, 100 г и 50 г (~ НПВ).
4. Рассчитать размах результатов для каждой серии измерений по формуле

$$R = I_{max} - I_{min}, \quad (2)$$

где  $I_{max}$  и  $I_{min}$  – наибольшее и наименьшее показания весов, г.

5. Определить средние значения  $I_{cp}$  результатов измерений в каждой серии и рассчитать СКО по формуле

$$\sigma_I = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - I_{cp})^2}{n(n-1)}}, \quad (3)$$

где  $I_i$  и  $I_{cp}$  – показания весов в каждом опыте серии и среднее, г;

$n$  – число измерений в серии.

6. Результаты расчетов размаха и СКО занести в Протокол (табл. 3.4) и, сравнив их с пределами допускаемых значений для данной нагрузки, сделать заключение об их соответствии (не соответствии).

### 3.5. Заполнить форму протокола (см. ниже) определения метрологических характеристик весов без исключения погрешности округления цифровой индикации и сделать выводы по работе, а также заключение о допуске (не допуске) лабораторных весов ВК-300 к применению

*Форма протокола определения метрологических характеристик весов  
без исключения погрешности округления цифровой индикации*

**Протокол №**

поверки весов \_\_\_\_\_ класса точности \_\_\_\_\_, заводск.№ \_\_\_\_\_,  
(тип)

изготовленных ЗАО «МАССА-К»

и представленных для периодической поверки

d =     г	Средства поверки: <i>образцовые гири</i>	
e =     г	0,1 г	100 г
НПВ =     г	20 г	200 г
НмПВ =     г	50 г	

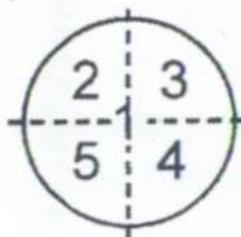
Таблица 3.1

**Определение погрешности весов при центрально-симметричном  
положении нагрузки на грузоприемной платформе**

№ изме- рения	Действитель- ные значения массы гирь L, г	Показания весов I, г		Погрешность весов Δ, г		Пределы допускае- мой по- грешности Δ <sub>н</sub> , г
		при возрас- тающей нагрузке	при убы- вающей нагрузке	при возрас- тающей нагрузке	при убы- вающей нагрузке	
1	0,100					±0,01
2	50,100					±0,02
3	100,100					±0,02
4	200,100					±0,03
5	290,100		-		-	±0,03
<input type="checkbox"/> Соответствует		<input type="checkbox"/> Не соответствует				

Таблица 3.2

Определение погрешности весов при нецентральном положении нагрузки на грузоприемной платформе



Действительное значение массы гири : $L = 100$ г		Предел допускаемой погрешности: $\Delta_n = \pm 0,02$ г			
№ позиции по рисунку	1	2	3	4	5
Показания весов $I$ , г					
Погрешность весов $\Delta$ , г					
<input type="checkbox"/> Соответствует		<input type="checkbox"/> Не соответствует			

Таблица 3.3

Определение погрешности весов после выборки массы тары

№ измерения	Значение массы тары, г	Действительное значение массы гири $L$ , г	Показания весов $I$ , г		Погрешность весов $\Delta$ , г		Пределы допускаемой погрешности $\Delta_n$ , г
			при возрастающей нагрузке	при убывающей нагрузке	при возрастающей нагрузке	при убывающей нагрузке	
1	100	0,100					$\pm 0,01$
2		50,100					$\pm 0,02$
3		100,100					$\pm 0,02$
4		150,100					$\pm 0,02$
5		170,100		-		-	$\pm 0,02$
1	200	0,100					$\pm 0,01$
2		20,100					$\pm 0,01$
3		40,100					$\pm 0,01$
4		60,100					$\pm 0,02$
5		80,100		-		-	$\pm 0,02$
<input type="checkbox"/> Соответствует		<input type="checkbox"/> Не соответствует					

## Определение размаха и СКО результатов измерений

№ измерений	Показания весов $I$ при нагрузке близкой или равной 0,5 НПВ (масса гирь = 150 г), г	Показания весов $I$ при нагрузке близкой или равной НПВ (масса гирь = 250 г), г
1		
2		
3		
4		
5		
6		
Среднее $I_{cp}$ , г		
$R = I_{max} - I_{min}$ , г		
Допускаемое значение размаха $R_n$ , г	0,02	0,02
Расчетное СКО $\sigma_I$ , г		
Допускаемое СКО $\sigma_n$ , г	0,003	0,003
<input type="checkbox"/> Соответствует по размаху	<input type="checkbox"/> Не соответствует по размаху	
<input type="checkbox"/> Соответствует по СКО	<input type="checkbox"/> Не соответствует по СКО	

Дата \_\_\_\_\_

Поверитель \_\_\_\_\_ (ФИО) \_\_\_\_\_ (подпись)

**4. Контрольные вопросы**

1. В чем заключается различие в понятиях «масса» и «вес» тела?
2. Какие средства измерений называют весами, и каковы их основные метрологические характеристики?
3. Назовите и охарактеризуйте основные конструктивные элементы весов.
4. В каком виде могут быть выполнены лабораторные весы, и какую систему регулирования применяют в весах с цифровым отсчетом результата измерений?
5. Для каких целей применяют весы ВК-300, и каковы их основные метрологические характеристики?
6. Назовите основные элементы конструкции весов ВК-300, а также назначение кнопок и индикаторов их лицевой панели. В каких режимах взвешивания могут работать весы ВК-300?
7. В чем заключается проведение периодических поверок весов ВК-300, при каких условиях и с помощью каких средств их осуществляют?
8. Как определяют погрешность весов ВК-300 при центрально-симметричном и нецентрально-симметричном положении нагрузки на грузоприемной платформе?
9. Каковы методики определения погрешности весов после выборки массы тары, а также определения размаха и СКО результатов измерений?
10. Какую форму Протокола определения метрологических характеристик весов ВК-300 необходимо составить по результатам их поверки?

## РАЗДЕЛ 2. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ

Плотность  $\rho$  [кг/м<sup>3</sup>] – это физическая величина, определяемая для однородных тел его массой в единицу объема.

Относительной плотностью  $d$  вещества называется величина, равная отношению его плотности при 20 °С к плотности стандартного вещества при определенных физических условиях (Т и Р). В качестве *стандартного вещества* принята дистиллированная вода при температуре 4 °С и атмосферном давлении 101,325 кПа. Относительная плотность является безразмерной величиной и обозначается  $d_4^{20}$  (плотность данного вещества при температуре 20°С отнесена к плотности воды при температуре 4 °С). Другие обозначения:  $d_1^{15}$ ,  $d_t^t$ .

Для твердых, жидких и газообразных веществ применяют *различные методы измерения плотности*:

- для *твердых тел* – весовой и гидростатический;
- для *жидкостей* – весовой, ареометрический, вибрационный, гидростатический, радиоизотопный;
- для *газов* – весовой, метод истечения, вибрационный.

### Лабораторная работа № 2

#### Методы и средства измерений плотности жидкости

**Цели работы:** экспериментальное определение основных метрологических характеристик пикнометров и ареометров в ходе поверки; определение плотности жидкости ареометрическим и пикнометрическим методами и сравнительная оценка точности полученных результатов.

#### 1. Общие сведения

Весовой (пикнометрический) метод применяют для измерения плотности твердых, жидких и газообразных веществ, а ареометрический метод – только для жидких.

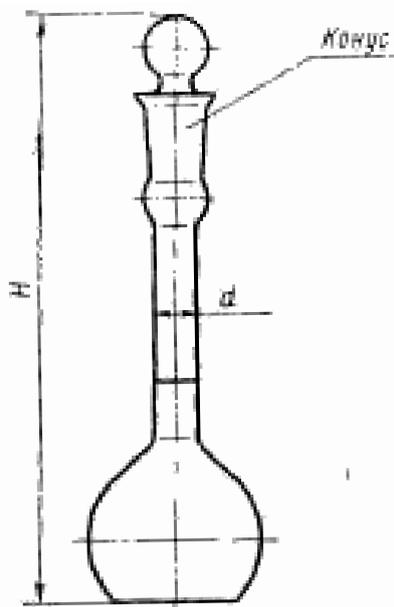
*Весовой метод* осуществляют с помощью *пикнометров* – стеклянных сосудов специальной формы и определенной вместимости. Виды и характеристики пикнометров регулируются ГОСТ 22524-77 «Пикнометры стеклянные. Технические условия». В зависимости от назначения и формы изготавливаются следующие виды пикнометров: ПЖ1...ПЖ4 – для жидкостей, ПТ – для твердых и сыпучих материалов, ПГ – для газов. Конструкция и основные метрологические характеристики пикнометров типа ПЖ2 приведены на рис.1.1 и в табл.1.1.

Измерение плотности пикнометрическим методом основано на взвешивании вещества, заполняющего пикнометр до метки на горловине, что соответствует его номинальной вместимости. Методика определения плотности с помощью пикнометра приведена в п.3.2 лабораторной работы. Измерения объема

значительно упрощаются, если вместо одной метки пикнометр снабжен шкалой, а также удобен в работе пикнометр с боковой капиллярной трубкой, у которой пробкой служит тело термометра. Плотность твердых тел определяют, погружая их в пикнометр с жидкостью. Для измерений плотности газов применяют пикнометры специальной формы (шаровидные и др.).

Таблица 1.1

Метрологические характеристики пикнометров типа ПЖ2 по ГОСТ 22524-77



номинальная	Вместимость, мл		Масса, г не более
	предельное отклонение		
1	±0,2	20	
2	±0,3	20	
3	±0,4	20	
5	±0,5	20	
10	±1,0	25	
25	±2,0	40	
50	±3,0	45	
100	±5,0	50	

Рис. 1.1. Пикнометр типа ПЖ2

Основными достоинствами пикнометрического метода определения плотности являются: высокая точность измерений (до  $10^{-5}$  г/см<sup>3</sup>); возможность использования малых количеств вещества (0,5...100 см<sup>3</sup>); практически исключено испарение жидкости и поглощение влаги из воздуха; раздельное проведение операций термостатирования и последующего взвешивания.

Для определения плотности жидкостей пользуются *ареометрическим методом* с применением *ареометров*, представляющих собой средства измерений в виде заполненной грузом ампулы с тонкой удлиненной верхней частью, градуированной в единицах плотности. Отсчет плотности производят по делению, до которого ареометр погружается в контролируемую среду. *Ареометры* – это поплавковые плотномеры, принцип измерений которых основан на законе Архимеда: по глубине погружения и весу ареометра определяют плотность жидкости.

Формы ареометров, их типы, основные конструктивные параметры и метрологические характеристики установлены ГОСТ 18481-81 «Ареометры и цилиндры стеклянные. Технические условия». Существуют различные типы ареометров: общего назначения (АОН-1...АОН-5), для нефти (АНТ-1...АНТ-2), для молока (АМ), для электролита (АЭ-1...АЭ-3) и др. Конструкция, а также основные технические и метрологические характеристики ареометров общего назначения АОН-1 (набор) с диапазоном измерений 700-1840 кг/м<sup>3</sup> приведены на рис.1.2 и в табл.1.2.

Таблица 1.2

Технические и метрологические характеристики  
ареометров АОН-1 (набор) по ГОСТ 18481-81



Диапазон измерений, кг/м <sup>3</sup>	Диапазон показаний, кг/м <sup>3</sup>	Цена деления шкалы, кг/м <sup>3</sup>	Предел основной допу- стимой погрешности, кг/м <sup>3</sup>	Общая длина L, мм, не более	Диаметр конуса D, мм, не более	Диаметр стержня d, мм, не более	Длина шкалы l, мм, не менее
700-1840	60	1	1	170	20	4	44

Рис.1.2. Ареометр АОН-1

Шкалы ареометров градуированы для температуры 20 °С. Поверка ареометров осуществляется согласно Рекомендациям по метрологии Р 50.2.041-2004 ГСИ «Ареометры стеклянные. Методика поверки». Методика поверки ареометров и определения плотности жидкости ареометрическим методом приведена в п.3.1 лабораторной работы.

## 2. Используемое оборудование

Для выполнения лабораторной работы используются ареометры АОН-1 с диапазоном измерений 1,06...1,12 г/см<sup>3</sup>; стеклянные пикнометры объемом 5...50 см<sup>3</sup>; термометры ТЛ-2 с ценой деления 0,5...1 °С; химические стаканы на 600 и 800 см<sup>3</sup> для измерений, на 400 и 2000 см<sup>3</sup> для термостатирования; аналитические весы ВЛР-200; стаканчики на 50 мл для заполнения пикнометров; пипетки; фильтровальная бумага.

## 3. Порядок выполнения работы и обработка результатов

### 3.1. Определение основной погрешности ареометров общего назначения (АОН-1) при поверке по Рекомендациям по метрологии Р 50.2.041-2004 ГСИ и измерение плотности жидкости ареометрическим методом

Основные погрешности определяют сличением показаний поверяемого ареометра с показаниями образцового, погружая их в одну и ту же поверочную жидкость при температуре 20 °С в условиях термостатной ванны.

Ареометры поверяют в трех числовых отметках, расположенных в нижней, средней и верхней частях шкалы. Поверку начинают с нижней выбранной отметки.

1. Убедиться, что температура поверочной жидкости во всех термостатированных стаканах 20 °С, измерив ее с помощью термометра.

2. Поверяемый и образцовый ареометры погрузить в термостатированный стакан с первой поверочной жидкостью (с наибольшей плотностью) для сличений в нижней части шкалы.

3. Через 5 минут после погружения, убедившись, что сличаемые ареометры свободно плавают, не касаются друг друга, стенок стакана и термометра, снять показания ареометров по нижнему краю мениска. При этом необходимо избегать ошибки на параллакс, установив глаз наблюдателя на уровень нижнего края мениска.

4. Медленно извлечь поверяемый ареометр из жидкости и снова погрузить в нее для сличения показаний на выбранной отметке не менее двух раз. Показания поверяемого и образцового ареометров занести в табл. 3.1.

5. Поверяемый и образцовый ареометры медленно извлечь из жидкости, промыть в проточной и дистиллированной воде, осушить с помощью салфетки, подготовив к поверке на других отметках в средней и верхней частях шкалы.

6. Выполнить п.п.1 – 3, используя сначала термостатированный стакан со второй поверочной жидкостью для сличения в средней части шкалы, а затем с третьей поверочной жидкостью для сличения в верхней части шкалы. Показания поверяемого и образцового ареометров занести в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Показания образцового и поверяемого ареометров при поверке ареометра АОН-1 ( $t = 20\text{ °C}$ )

Ареометр	Показания ареометра в трех числовых отметках разных частей шкалы $\rho$ , г/см <sup>3</sup>								
	в нижней части			в средней части			в верхней части		
	1	2	среднее $\rho_{cp}$	1	2	среднее $\rho_{cp}$	1	2	среднее $\rho_{cp}$
Образцовый									
Поверяемый									

7. Средние значения показаний образцового и поверяемого ареометров в каждой части занести в Протокол поверки (табл. 3.2).

8. Рассчитать основную погрешность поверяемого ареометра на каждом участке шкалы по формуле

$$\Delta^{осн} = \rho_{и,обр} - \rho_{ср,пов} ,$$

где  $\rho_{и,обр}$  – исправленное показание образцового ареометра с учетом поправки по Свидетельству,

$$\rho_{и,обр} = \rho_{ср,обр} + \Delta_{обр} ,$$

где  $\rho_{ср,обр}$  и  $\rho_{ср,пов}$  – средние показания образцового и поверяемого ареометров на каждом участке шкалы, г/см<sup>3</sup>;

$$\Delta_{обр} - \text{поправка образцового ареометра по Свидетельству, г/см}^3,$$

$$\Delta_{обр} = 0,00025 \text{ г/см}^3.$$

Результаты расчетов занести в Протокол (табл. 3.2).

9. Сравнить значения основной погрешности поверяемого ареометра на каждом участке шкалы с нормированным пределом по ГОСТ18481-81 и сделать заключение о возможности допуска ареометра к определению плотности, которое отразить в Протоколе поверки (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Протокол поверки ареометра

Общие метрологические характеристики поверяемого ареометра по ГОСТ 18481-81			Показания ареометров при сличении в разных частях шкалы, г/см <sup>3</sup>				Основная погрешность поверяемого ареометра, г/см <sup>3</sup>		
наименование и обозначение	Диапазон измерения, г/см <sup>3</sup>	цена деления шкалы, г/см <sup>3</sup>	части шкалы	образцовый ареометр			поверяемый ареометр	фактическая $\Delta_{осн}$	нормированная по ГОСТ 18481-81
				показания $\rho_{ср,обр}$	поправка по Свидетельству $\Delta_{обр}$	исправленное показание $\rho_{и,обр}$			
			нижняя		0,00025			±0,001	
			средняя						
			верхняя						
<p><i>Заключение:</i> поверяемый ареометр к определению плотности допускается (не допускается)</p> <p>Дата _____</p> <p>Поверитель _____ (ФИО) _____ (подпись)</p>									

3.2. Определение постоянной (водного числа) пикнометра и измерение плотности жидкости пикнометрическим методом

Перед определением плотности веществ с помощью пикнометра необходимо установить его постоянную (водное число) – масса воды в объеме пикнометра при температуре 20 °С.

1. Определить массу пустого сухого пикнометра с помощью аналитических весов с точностью до 0,0002 г. Взвешивание выполнить три раза и результаты измерений занести в табл. 3.3.

2. Наполнить пикнометр до метки (по нижнему краю мениска) с помощью пипетки дистиллированной водой, охлажденной до 20 °С с отклонением ± 2 °С.

3. Поместить пикнометр с водой в термостатную ванну с температурой 20 °С и выдержать в ней 10 минут.

4. Проверить температуру и уровень воды в пикнометре относительно метки, удалив избыток выше метки с помощью пипетки или фильтровальной бумаги, а также при необходимости добавив воду.

5. Извлечь пикнометр из термостатной ванны, тщательно вытереть снаружи остатки воды и взвесить с точностью до 0,0002 г, выполнив три повторных измерения. Результат занести в табл. 3.3. Вылить воду из пикнометра и выдерживать его в перевернутом положении 5 минут, подготовив к измерению плотности жидкости.

6. Определить постоянную (водное число) пикнометра по формуле

$$q = m_{H_2O,cp} - m_{0,cp},$$

где  $m_{H_2O,cp}$  – средняя масса пикнометра с водой, г;

$m_{0,cp}$  – средняя масса пустого пикнометра, г.

Таблица 3.3

Результаты измерений массы пустого и наполненного жидкостью пикнометра ( $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$ )

№ измерения	Масса пикнометра, г		
	пустого $m_0$	с водой $m_{H_2O}$	с поверочной жидкостью $m_{жс}$
1			
2			
3			
среднее значение			

7. Для определения плотности жидкости пикнометрическим методом в подготовленный пикнометр с известным водным числом чистой пипеткой набрать до метки (по нижнему краю мениска) жидкость, используемую в качестве поверочной при сличении ареометров на среднем участке шкалы (см. п. 3.1). Убедиться, что температура жидкости составляет  $20\text{ }^\circ\text{C}$  ( $\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ ).

8. Выполнить п.п. 3 – 5.

9. Рассчитать плотность жидкости, определенной с помощью пикнометра, по формуле

$$\rho_{жс} = \frac{m_{жс,cp} - m_{0,cp}}{q} \cdot 0,998230,$$

где  $m_{жс,cp}$  и  $m_{0,cp}$  – средние массы пикнометра соответственно с жидкостью и пустого, г;

$q$  – водное число пикнометра, г;

0,998230 – плотность воды при  $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$ , г/см<sup>3</sup>.

### 3.3. Сравнительная метрологическая оценка точности результатов измерений плотности ареометрическим и пикнометрическим методами

1. Провести метрологическую оценку результатов измерения плотности жидкости, используемой в качестве поверочной при сличении ареометров на среднем участке шкалы (см. п. 3.1), ареометрическим и пикнометрическим методами. Для этого определить абсолютную и относительную погрешности измерений плотности указанной жидкости, зная истинное значение ее плотности  $\rho_{ист}$  (задается преподавателем), по следующим формулам

для ареометрического метода:

$$\Delta_{абс}^{ар} = |\rho_{ср,нов} - \rho_{ист}|,$$

$$\Delta_{отн}^{ар} = \frac{\Delta_{абс}^{ар}}{\rho_{ист}} \cdot 100, \%,$$

где  $\Delta_{абс}^{ар}$  и  $\Delta_{отн}^{ар}$  - соответственно абсолютная и относительная погрешности измерения плотности жидкости ареометром;

$\rho_{ср,нов}$  – среднее значение показания (плотность жидкости) поверяемого ареометра в средней части шкалы (см. табл. 3.2, п.3.1);

$\rho_{ист}$  – истинное значение плотности жидкости;

для пикнометрического метода:

$$\Delta_{абс}^{ник} = |\rho_{ж} - \rho_{ист}|,$$

$$\Delta_{отн}^{ник} = \frac{\Delta_{абс}^{ник}}{\rho_{ист}} \cdot 100, \%,$$

где  $\Delta_{абс}^{ник}$  и  $\Delta_{отн}^{ник}$  - соответственно абсолютная и относительная погрешности измерения плотности жидкости пикнометром;

$\rho_{ж}$  – плотность жидкости, определенной пикнометрическим методом.

2. Сравнив погрешности измерений ареометрическим и пикнометрическим методами, определить более точный метод измерения плотности.

### 3.4. Сделать выводы по работе

#### **4. Контрольные вопросы**

1. Сформулируйте определения плотности и относительной плотности вещества.

2. Поясните сущность весового (пикнометрического) метода определения плотности.

3. Какие типы пикнометров применяют для измерения плотности?

4. Какова конструкция и метрологические характеристики пикнометров типа ПЖ2? Какой показатель называют «водным числом» пикнометра, и как его определяют?

5. Какова методика определения плотности жидкости пикнометрическим методом?

6. Перечислите основные достоинства пикнометрического метода измерения плотности.

7. В чем заключается сущность ареометрического метода измерений плотности?

8. Какие средства измерений называют ареометрами? Какова конструкция и основные метрологические характеристики ареометра АОН-1?

9. Какова методика определения плотности жидкости ареометром?

10. Как осуществляют поверку ареометров АОН-1 для определения основной погрешности?

### РАЗДЕЛ 3. ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Оптические методы измерений основаны на взаимодействии между светом, являющимся электромагнитным излучением, и веществом. К этим методам анализа относится совокупность методов качественного и количественного анализов по интенсивности инфракрасного (длина волны от 0,8 до 300 мкм), видимого (длина волны от 380 до 760 нм) и ультрафиолетового (длина волны от 50 до 400 нм) излучения. Оптическими методами анализа являются атомно-абсорбционный, эмиссионный, спектральный и люминесцентный, а также турбидиметрия, нефелометрия и *фотометрический анализ*, который заключается в регистрации поглощения молекулами определяемого компонента излучения в указанных выше спектральных диапазонах.

Фотометрический анализ включает спектрофотометрию, фотоколориметрию и визуальную фотометрию, называемую колориметрией.

Каждое вещество поглощает свет только определенной длины волны, что позволяет проводить качественный анализ по светопоглощению. В основу количественного анализа при абсорбционной фотометрии положен *закон Бугера-Ламберта-Бера*

$$I = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon l c},$$

где  $I_0$  и  $I$  – интенсивности света, падающего на анализируемый раствор и прошедшего через него;

$c$  – молярная концентрация вещества;

$l$  – толщина светопоглощающего слоя;

$\varepsilon$  – молярный коэффициент светопоглощения.

Из этого выражения следует, что

$$\lg \frac{I}{I_0} = -\varepsilon l c \quad \text{или} \quad -\lg \frac{I}{I_0} = \varepsilon l c.$$

Часто используется величина, называемая пропусканием  $T$ , которая связана с оптической плотностью  $A$  раствора соотношением

$$-\lg T = -\lg \frac{I}{I_0} = A.$$

Тогда выражение закона Бугера-Ламберта-Бера можно записать

$$A = \varepsilon l c.$$

Графически эта зависимость оптической плотности  $A$  от концентрации  $c$  вещества выражается прямой, проходящей через начало координат. Для определения концентрации анализируемого вещества абсорбционной фотометрией используют следующие методы: градуировочного графика, молярного коэффициента светопоглощения, фотометрического титрования и др.

Для измерения коэффициентов пропускания и оптической плотности растворов используют оптоэлектрические преобразователи в приборах, называемых фотометрами. В оптоэлектрических преобразователях выходной сигнал изменяется в зависимости от светового потока, падающего на преобразователь.

Такой преобразователь содержит источник излучения светового потока, оптический канал и приемник излучения, воспринимающий поток и преобразующий его в электрическую величину.

*Фотометры* могут быть одно- и двухлучевыми. В однолучевых приборах пробу сравнения и анализируемую пробу последовательно помещают на пути излучения и измеряют соотношение обоих потоков излучения (рис. 1.). В двухлучевых приборах каждая из проб постоянно находится в своем потоке излучения.

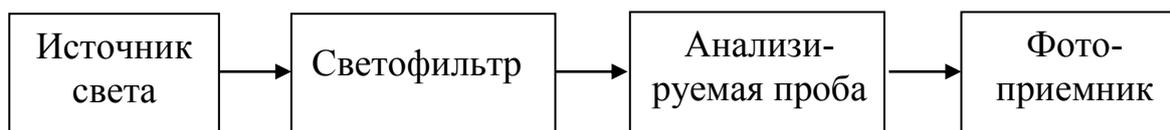


Рис. 1. Схема основных блоков однолучевого фотометра

*Источник света* является непрерывным излучателем светового потока. *Светофильтры* служат для исключения отдельных спектральных линий из общего спектра излучения. *Приемниками излучения* являются фотоэлектрические приемники в виде фотоэлементов, фоторезисторов, фотодиодов и др.

Современные измерительные приборы позволяют измерять величину оптической плотности  $A$  от 0,02 до 3,0. Однако для получения удовлетворительных по точности результатов значения измеряемой оптической плотности должны находиться в пределах  $0,05 \leq A \leq 1,0$ .

### Лабораторная работа № 3

#### Средства измерений для фотометрического анализа (спектрофотометры)

**Цели работы:** экспериментальное определение основных метрологических характеристик спектрофотометра в результате поверки и их оценка на соответствие нормированным значениям.

#### 1. Общие сведения

*Спектрофотометр ПЭ – 5300ВИ* относится фотометрам и предназначен для измерения коэффициентов пропускания и оптической плотности жидкостей (в том числе биологических) с целью определения концентрации растворенных в них компонентов, а также для измерения коэффициента пропускания и оптической плотности твердых и жидких проб различного происхождения.

*Область применения спектрофотометров* – эколого-аналитические и санитарно-эпидемиологические лаборатории медицинских учреждений, а также химические, оптические, биологические лаборатории промышленных предприятий, научно-исследовательских и учебных институтов.

*Принцип действия* фотометра основан на сравнении светового потока  $\Phi_0$ , прошедшего через раствор сравнения (контрольный раствор, по отношению к

которому производится измерение) и светового потока  $\Phi$ , прошедшего через исследуемую среду.

Световые потоки  $\Phi_0$  и  $\Phi$  преобразуются фотоприемником в электрические сигналы  $I_0$  и  $I$ . Также измеряется  $I_T$  – сигнал от неосвещенного приёмника. По величинам этих сигналов микропроцессором спектрофотометра рассчитывается и изображается на дисплее результат измерения в виде коэффициента пропускания, оптической плотности или концентрации в зависимости от выбранного режима измерения.

Коэффициент пропускания  $\tau$  исследуемого раствора определяется как отношение потоков или сигналов по формулам

$$\tau = \frac{\Phi}{\Phi_0} = \frac{I - I_T}{I_0 - I_T}.$$

Пропускание  $T$  (в процентах) находится по формуле

$$T = \tau * 100\%.$$

Оптическая плотность  $A$  определяется

$$A = \lg \frac{1}{\tau} = \lg \frac{100\%}{T}.$$

Концентрация  $C$  по вводимому коэффициенту  $F$  выражается

$$C_x = A_x * F.$$

#### Оптическая схема спектрофотометра ПЭ – 5300ВИ

Спектрофотометр применяется для измерения в отдельных участках спектрального диапазона длин волн 325 – 1000 нм,

Спектрофотометр ПЭ – 5300ВИ состоит из оптико-механического и электронного узлов, установленных в корпусе. Принципиальная оптическая схема спектрофотометра приведена на рис. 2.

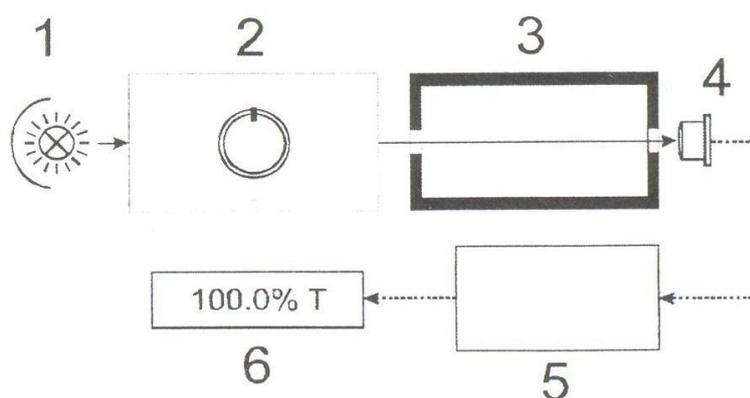


Рис. 2. Оптическая схема спектрофотометра ПЭ – 5300 ВИ:

- 1 – источник света; 2 – монохроматор; 3 – кюветное отделение;
- 4 – детектор для регистрации света; 5 – электроника; 6 – дисплей

Спектрофотометр построен по однолучевой схеме. В приборе используется монохроматор с дифракционной решеткой, для выделения спектрального диапазона требуемых длин волн (2). В качестве источника излучения применена галогенная лампа (1), в качестве приемника – кремниевый фотодиод. Кюветное отделение (3), служит для размещения проб и калибровочных растворов. Детектор (4) предназначен для регистрации света и преобразования его в электрический сигнал. Электроника (5), обеспечивает проведение измерений и управления работой прибора. Вывод результатов измерений осуществляется на жидкокристаллический графический индикатор (6).

Описание кнопок и режимов индикации спектрофотометра ПЭ – 5300 ВИ

Панель управления спектрофотометра представлена на рис. 3.

Кнопка **РЕЖИМ** производит переключение режимов. Светодиод, загорающийся у одной из букв: **А,Т,С** и **F**, показывает режим, в котором в данный момент работает спектрофотометр:

**А** – определение оптической плотности D;

**Т** – определение пропускания  $\tau$ , %;

**С** – определение концентрации;

**F** – ввод коэффициента F.

Кнопка **▲ (0 %Т)**: устанавливает «нулевой отсчет» (компенсируются темновые токи).

Кнопка **▼ (0А/100%Т)**: устанавливает 100%Т или 0,000А когда в отделении для проб находится раствор сравнения или ничего не установлено.

Кнопка **ВВОД**: в режимах **А, Т** и **С** осуществляет пересылку на компьютер результатов, отображающихся на индикаторе. В режиме **F** прибор запоминает значение фактора и переводит прибор в режим расчета концентрации  $C_x$ , значение которой будет рассчитано по формуле

$$C_x = A_x * F.$$



Рис. 3. Панель управления спектрофотометра ПЭ - 5300 ВИ

На рис. 4 представлен общий вид спектрофотометра.

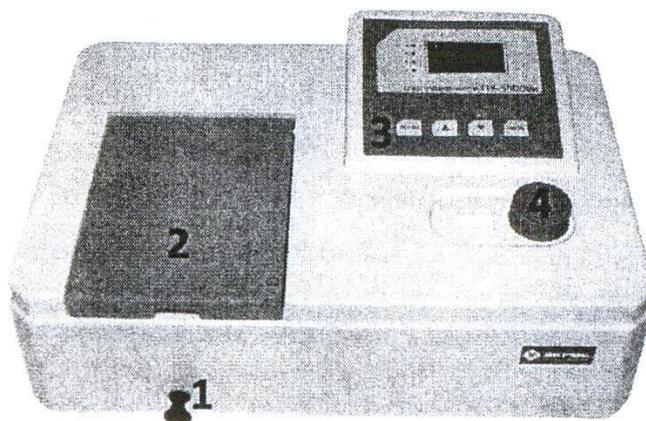


Рис. 4. Спектрофотометр ПЭ - 5300 ВИ: 1 – ручка перемещения кювет; 2 – крышка кюветного отделения; 3 – панель управления; 4 – ручка установки длины волны

Необходимая длина волны устанавливается вращением ручки **ДЛИНА ВОЛНЫ** до совмещения в окне соответствующего деления шкалы с горизонтальной риской (рис. 5). Шкала отградуирована в нанометрах (нм).

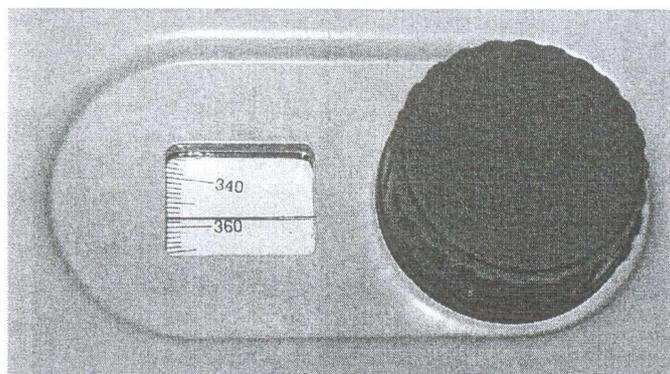


Рис. 5. Узел установки длины волны

#### Метрологические характеристики средств измерений и спектрофотометра ПЭ - 5300 ВИ

Спектрофотометры являются средствами измерений, следовательно, должны обеспечивать единство измерений. Это означает их градуировку в законных единицах и соответствие их метрологических характеристик установленным нормам.

*Метрологические характеристики* – это характеристики средства измерений, влияющие на результат и погрешность его измерений. Метрологические характеристики, установленные нормативно – техническими документами, называются *нормируемыми*, а определяемые экспериментально – *действительными*. Номенклатуру метрологических характеристик и правила их выбора устанавливает ГОСТ 8.009 – 84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характе-

ристики средств измерений». В состав общего перечня нормируемых метрологических характеристик наряду с прочими входят:

- характеристики средств измерений, предназначенные для определения результатов измерений: пределы и диапазон измерений, диапазон показаний, цена деления шкалы;

- характеристики погрешности средств измерений.

*Шкала* – это часть отсчетного или регистрирующего устройства, представляющая собой ряд отметок, соответствующих последовательному ряду значений величины. Шкалы могут быть *равномерными* и *неравномерными*. Они имеют начальное и конечное значения.

*Диапазон показаний* – это область значений шкалы средства измерений, ограниченная начальным и конечным делениями.

*Диапазон измерений* – это область значений физической величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности средства измерений.

*Диапазон измерений спектрофотометра ПЭ–5300ВИ* спектральных коэффициентов направленного пропускания от 0 до 200%, а оптической плотности – от 3 до 0. Диапазон измерений всегда меньше или равен диапазону показаний.

*Пределы измерений* – это наибольшее и наименьшее значения диапазона измерений.

*Цена деления шкалы* – это разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы средства измерений.

*Погрешность средства измерений* – основная метрологическая характеристика. В зависимости от внешних условий погрешности могут быть *основными* и *дополнительными*. *Погрешность* средства измерений при нормальных условиях эксплуатации называется *основной*.

*Предел допускаемой абсолютной погрешности* при измерении спектральных коэффициентов направленного пропускания в спектрофотометре равен ( $\pm 0,5$ ) %.

*Нормальными условиями работы спектрофотометра* являются: температура окружающей среды ( $20 \pm 5$ ) °С, относительная влажность воздуха от 45 до 80 %, напряжение питания сети ( $220 \pm 22$ ) В, частота ( $50 \pm 1$ ) Гц; атмосферное давление от 84 до 106 кПа. Если рабочие условия средств измерений отличаются от нормальных, то расширяется и диапазон влияющих величин. Поэтому нормируется, кроме основной, еще и *дополнительная погрешность*.

## **2. Используемое оборудование**

Для выполнения лабораторной работы используются спектрофотометр ПЭ-5300ВИ, поверочные светофильтры (7%, 50%, 90%), контрольный светофильтр ПС-7.

## **3. Порядок выполнения работы и обработка результатов**

*Проведение поверки и определение основных метрологических характеристик спектрофотометра ПЭ-5300 ВИ*

### 3.1. Определение абсолютной погрешности спектрофотометра ( $\Delta T$ ) при измерении спектральных коэффициентов направленного пропускания

Определение абсолютной погрешности спектрофотометра при измерении спектральных коэффициентов направленного пропускания проводится путем измерения коэффициентов пропускания трех поверочных светофильтров (7%, 50%, 90%) на длинах волн, которые указаны в табл. 1, и сравнением результатов измерений с нормированными значениями коэффициентов пропускания.

- 1) Включите спектрофотометр и прогрейте его в течение 20 минут.
- 2) Кнопкой РЕЖИМ выберите режим работы T – определение коэффициента пропускания.
- 3) Поместите в одну из ячеек кюветодержателя адаптер – заглушку, установленную в положение с пропусканием 0% T. Во вторую ячейку, установите адаптер – заглушку со вставленным в нее первым контрольным светофильтром 7%. Третья ячейка кюветодержателя остается пустой. Закройте крышку кюветодержателя.
- 4) Ручкой ДЛИНА ВОЛНЫ установите длину волны 400нм согласно табл. 1.
- 5) Ручкой для перемещения кюветодержателя подведите в рабочую зону пустую ячейку кюветодержателя. Установите 100% T с помощью кнопки ▼ (ОА/100%T). Подождите несколько секунд, пока на индикаторе не появится значение пропускания T%. Показание должно быть  $100 \pm 0,2\%$ .
- 6) Ручкой для перемещения кюветодержателя подведите в рабочую зону адаптер-заглушку, установленную в положение с пропусканием 0%. Установите 0%T, нажав кнопку ▲ (0%T). Подождите несколько секунд, пока на дисплее не появится значение пропускания %T. Показание должно быть  $0,0 \pm 0,1\%T$ .
- 7) Еще раз выполните п.5.
- 8) Не открывая кюветного отделения, ручкой для перемещения подведите в рабочую зону адаптер – заглушку со вставленным в нее контрольным светофильтром. Запишите в табл. 1 измеренное значение пропускания, отображаемое на индикаторе.
- 9) Повторите п.п.7 – 8 еще раз и найдите среднее значение по результатам двух измерений.
- 10) Повторите п.п.4 – 9 для первого светофильтра 7%, установив длину волны 550нм, а затем длину волны 750нм, согласно табл. 1. Результаты измерений занесите в табл. 1.
- 11) Найдите разность между средними измеренными  $T_{изм}$  и нормированными  $T_n$  значениями коэффициентов пропускания и занесите результаты в табл. 1

$$\Delta T_{расч} = T_{изм} - T_n .$$

- 12) Повторите операции, указанные в п.п. 3 – 12 для двух других светофильтров – 50% и 90%. Результаты измерений занесите в табл. 1.

Таблица 1

Результаты определения абсолютной погрешности спектрофотометра ПЭ-5300ВИ  
при измерении спектральных коэффициентов направленного пропускания

Свето- фильтр	Нормированное значение коэф- фициента про- пускания свето- фильтров, $T_n$ , %			Измеренное значение коэффициента пропускания светофильтров $T_{изм}$ , %									$\Delta T_{расч} = T_{изм} - T_n$ , %			$\Delta T_{расчmax}$ , %	$\Delta T_n$ , %
	400 нм	550 нм	750 нм	400нм			550нм			750нм			400 нм	550 нм	750 нм		
				1	2	сред- нее	1	2	сред- нее	1	2	сред- нее					
7%	6,1	7,0	4,5														$\pm 0,5$
50%	47,8	50,8	42,9														$\pm 0,5$
90%	92,9	93,2	93,4														$\pm 0,5$

- 13) За абсолютную погрешность спектрофотометра при измерении спектральных коэффициентов направленного пропускания принимается максимальное значение (по модулю) из ряда результатов  $\Delta T_{расч}$  (табл. 1)

$$\Delta T = \Delta T_{расчmax}$$

Спектрофотометр считается прошедшим поверку, если значения абсолютной погрешности при измерении спектральных коэффициентов направленного пропускания не превышают  $\Delta T_n = \pm 0,5\%$ .

### 3.2. Определение абсолютной погрешности установки длин волн

Определение абсолютной погрешности установки длин волн проводят измерением коэффициентов пропускания фильтра ПС-7 для длин волн  $\lambda_{min H}$ , соответствующих максимуму поглощения (минимуму пропускания) этого фильтра: 432нм, 586нм, 685нм. Измерения выполняют с минимальным шагом в диапазоне длин волн  $\pm 5$ нм.

1. Определение абсолютной погрешности установки длин волн для  $\lambda_{min H} = 432$ нм (табл. 2).

- 1) Кнопкой РЕЖИМ выберите режим работы Т – определение коэффициента пропускания.
- 2) Установите длину волны 422 нм (табл. 2).
- 3) Установите в кюветодержатель адаптер – заглушку и вставьте в него фильтр ПС-7. Закройте крышку кюветного отделения.
- 4) Не открывая кюветного отделения, ручкой для перемещения подведите пустую ячейку кюветодержателя в рабочую зону.
- 5) Установите 100% с помощью кнопки ▼ (ОА/100%Т). Подождите несколько секунд, пока на индикаторе не появится значение пропускания. Показание должно быть  $100 \pm 0,2\%$ .
- 6) Не открывая кюветного отделения, ручкой для перемещения подведите ячейку кюветодержателя с установленным фильтром ПС-7 в рабочую зону. Запишите значение пропускания в табл. 2.
- 7) Проведите измерение согласно п.п. 4 – 6 еще раз, вновь устанавливая светофильтр. Запишите значение пропускания в табл. 2 и определите среднее значение по результатам двух измерений.
- 8) Выполните п.п. 2 – 7 для длин волн 427нм, 432нм, 437нм и 442нм, согласно части I табл. 2.
- 9) По данным табл. 2 определите длину волны  $\lambda_{min изм}$ , соответствующую минимальному значению пропускания  $T_{cp}$ .
- 10) Найдите значение абсолютной погрешности установки длин волн для  $\lambda_{min H} = 432$ нм как разность между измеренным и нормированным значениями длин волн максимума полосы поглощения по формуле

$$\Delta \lambda_I = \lambda_{min изм} - \lambda_{min H}$$

Результаты измерений коэффициентов пропускания фильтра ПС-7  
для длин волн  $\lambda_{\min H}$ , соответствующих максимуму поглощения  
(минимуму пропускания) этого фильтра

<i>I. <math>\lambda_{\min H} = 432\text{нм}</math></i>					
Длина волны $\lambda$ , нм	422	427	<b>432</b>	437	442
Показания прибора $T_1$ , %					
Показания прибора $T_2$ , %					
Среднее пропускание $T_{cp}$ , %					
$\lambda_{\min \text{изм}} =$ $\Delta\lambda_I = \lambda_{\min \text{изм}} - \lambda_{\min H} =$					
<i>II. <math>\lambda_{\min H} = 586\text{нм}</math></i>					
Длина волны $\lambda$ , нм	576	581	<b>586</b>	591	596
Показания прибора $T_1$ , %					
Показания прибора $T_2$ , %					
Среднее пропускание $T_{cp}$ , %					
$\lambda_{\min \text{изм}} =$ $\Delta\lambda_{II} = \lambda_{\min \text{изм}} - \lambda_{\min H} =$					
<i>III. <math>\lambda_{\min H} = 685\text{нм}</math></i>					
Длина волны $\lambda$ , нм	675	680	<b>685</b>	690	695
Показания прибора $T_1$ , %					
Показания прибора $T_2$ , %					
Среднее пропускание $T_{cp}$ , %					
$\lambda_{\min \text{изм}} =$ $\Delta\lambda_{III} = \lambda_{\min \text{изм}} - \lambda_{\min H} =$					

*II. Определение абсолютной погрешности установки длин волн для  $\lambda_{\min H} = 586\text{нм}$  (табл. 2).*

11) Выполните п.п. 2 – 10 для длин волн части II табл. 2.

III. Определение абсолютной погрешности установки длин волн для  $\lambda_{\min H} = 685 \text{ нм}$  (табл. 2).

12) Выполните п.п. 2 – 10 для длин волн части III табл. 2.

13) Определите абсолютную погрешность  $\Delta\lambda$  установки длин волн, которая равна максимальному значению  $\lambda_{\max}$  из рассчитанных в п.п. I, II и III значений  $\Delta\lambda_I$ ,  $\Delta\lambda_{II}$  и  $\Delta\lambda_{III}$

$$\Delta\lambda = \lambda_{\max}.$$

14) Спектрофотометр считается прошедшим поверку, если полученное значение  $\Delta\lambda$  не превышает  $\pm 2 \text{ нм}$ .

3.3. В заключение лабораторной работы сделайте **выводы** о результатах поверки спектрофотометра ПЭ-5300 ВИ и соответствии его основных метрологических характеристик нормированным значениям.

#### **4. Контрольные вопросы**

1. Какие методы измерений относятся к оптическим? Приведите примеры.
2. На каком законе основан количественный анализ абсорбционной фотометрии?
3. Какая величина называется пропусканием  $T$ , и как она связана с оптической плотностью вещества?
4. Какова зависимость оптической плотности от концентрации вещества, и в основу какого фотометрического определения концентрации она положена?
5. Для каких измерений предназначен спектрофотометр? Область применения спектрофотометра.
6. Поясните оптическую схему спектрофотометра и назначение ее элементов. В каких режимах работает спектрофотометр?
7. Что такое метрологические характеристики средств измерений, нормируемые и действительные метрологические характеристики? Перечислите метрологические характеристики спектрофотометра ПЭ-5300 ВИ.
8. Что называют основной и дополнительной погрешностью? Каковы нормальные условия эксплуатации спектрофотометра?
9. Какова методика определения абсолютной погрешности спектрофотометра ( $\Delta T$ ) при измерении спектральных коэффициентов направленного пропускания?
10. Какова методика определения абсолютной погрешности установки длин волн?

## РАЗДЕЛ 4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Температура не может быть измерена непосредственно, как например, линейные размеры, давление, масса. Об изменении температуры судят по изменению других физических свойств тел (объема, давления, электрического сопротивления, эдс, интенсивности излучения и др.), связанных с температурой определенными зависимостями. Поэтому методы измерения температуры являются методами измерения указанных выше *термометрических свойств*, однозначно зависящих от температуры и измеряющихся просто и точно. При разработке конкретного метода измерений или прибора выбирают *термометрическое вещество*, у которого есть термометрическое свойство, сильно изменяющееся с температурой и хорошо воспроизводимое.

Методы и средства измерений разнообразны в зависимости от принципа действия приборов, диапазонов измеряемых температур, условий измерений и требуемой точности. Их делят на две основные группы: контактные и бесконтактные.

При *бесконтактных методах* температура тела определяется по его излучению (пирометрия). *Контактные методы* основаны на передаче тепла к чувствительному элементу измерительного прибора теплопроводностью и конвекцией. При контактных методах измерения прибор должен находиться с измеряемой средой в тепловом равновесии, т.е. иметь с ней одинаковую температуру.

Все приборы для измерения температуры содержат *основные узлы*: чувствительный элемент, где реализуется термометрическое свойство; измерительный прибор, связанный с чувствительным элементом и измеряющий численные значения термометрического свойства.

Контактные методы измерения температуры лежат в основе *контактных термометров*, которые в зависимости от выходного сигнала могут быть механические и электрические.

Действие *электрических контактных термометров* основано на изменении электрических свойств различных веществ с изменением температуры, например, термоэлектродвижущей силы (т.э.д.с.), возникающей при контакте пары двух различных проводников (термоэлектрические термометры или термопары).

### Лабораторная работа № 4 Термоэлектрические термометры - термопары

**Цели работы:** экспериментальное определение температуры среды термопарой термоэлектрического преобразователя ТХА; определение пределов допускаемых отклонений т.э.д.с. термопары от номинального значения для измеренных значений температур в заданном диапазоне; определение пределов допускаемой абсолютной погрешности измерений т.э.д.с. милливольтметром известного класса точности.

## 1. Общие сведения

Термоэлектрический преобразователь является чувствительным элементом термоэлектрического термометра. Принцип действия термоэлектрических преобразователей (термопар) основан на термоэлектрическом эффекте, который заключается в следующем: в замкнутом контуре, состоящем из двух разнородных проводников (или полупроводников) течет ток, если места спаев проводников имеют различные температуры. Термопара является преобразователем температуры в электрическую величину – разность потенциалов (термоэдс – т.э.д.с.).

Зависимость между т.э.д.с. и разностью температур «холодного» и «горячего» спаев термопары в общем случае нелинейна

$$\Delta E = a + b \cdot \Delta T + c \cdot \Delta T^2,$$

где  $a, b, c$  – постоянные, определяемые градуировкой в реперных точках.

Для удобства использования характеристики термопар линеаризованы. Для каждой комбинации материалов термопары по уравнению для т.э.д.с. можно построить график зависимости т.э.д.с. термопары от измеряемой температуры рабочего («горячего») спаев, если температура «холодного» спаев равна  $0^{\circ}\text{C}$ . Уравнение и график являются *статическими характеристиками преобразования термопары*. Кроме того, применяют градуировочные таблицы для термопар, содержащие величины т.э.д.с. и соответствующие им температуры.

Если температура «холодного» спаев не равна  $0^{\circ}\text{C}$ , а поддерживается постоянной, то в измеренное значение т.э.д.с.  $\Delta E_{\text{изм}}$  вносят *поправку*  $\Delta E_{\text{поправ}}$ , соответствующую отклонению температуры от  $0^{\circ}\text{C}$

$$\Delta E_{\text{факт}} = \Delta E_{\text{изм}} + \Delta E_{\text{поправ}}, \quad (1)$$

$$\Delta E_{\text{поправ}} = \Delta E_{\text{хол,t}} - \Delta E_{\text{хол,0}}, \quad (2)$$

где  $\Delta E_{\text{факт}}$  – измеренное значение т.э.д.с. с учетом поправки, мВ;

$\Delta E_{\text{поправ}}$  – поправка т.э.д.с., мВ;

$\Delta E_{\text{хол,t}}$  – значение т.э.д.с. «холодного» спаев при фактической температуре;

$\Delta E_{\text{хол,0}}$  – значение т.э.д.с. «холодного» спаев при  $0^{\circ}\text{C}$ .

К материалам для изготовления термопар предъявляются следующие *требования*: высокая чувствительность, линейность характеристики т.э.д.с., малая инерционность, механическая прочность, стабильность термоэлектрических свойств во времени.

Термопары изготавливают из чистых металлов и сплавов стандартизованного состава:

- пары из благородных металлов (например, платиноводородий – платина обозначается ПП, диапазон измерений  $0 \div 1300^{\circ}\text{C}$ );

- пары из неблагородных металлов (например, хромель – алюмель обозначается ХА, диапазон измерений  $-200 \div 1000^{\circ}\text{C}$ ).

Конструктивно термопары выполняются в виде двух изолированных термоэлектродов с рабочим спаем, получаемым способом сварки, помещенных в защитную арматуру, предохраняющую термопару от внешних воздействий и повреждений. Рабочие концы выведены в головку термопары, снабженную зажимами для включения термопары в электрическую цепь. Длину термопар делают как можно меньше вследствие их высокого сопротивления и стоимости. Для этого применяют компенсационные провода, которые присоединяют к термопаре в непосредственной близости от места измерения (обычно в головке защитной трубы).

Максимальное значение т.э.д.с., развиваемое стандартными термопарами, может быть от единиц до десятков милливольт (мВ). Для измерения т.э.д.с. применяются магнитоэлектрические и электронные (аналоговые и цифровые) милливольтметры или потенциометры постоянного тока.

Метрологические характеристики стандартизованных термопар регламентируются ГОСТ 6616-94 «Преобразователи термоэлектрические. Общие технические условия» и ГОСТ Р 8.585-2001 ГСИ «Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования», которые распространяются на термоэлектрические преобразователи с металлическими электродами. Так, согласно указанным ГОСТ, для термопары хромель – алюмель устанавливаются следующие метрологические характеристики:

1. Типы термоэлектрических преобразователей, условные обозначения номинальной статической характеристики (НСХ) преобразования термопар, диапазоны измерений при длительном и кратковременном применении должны соответствовать приведенным в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Типы, условные обозначения и диапазоны измерений термопар

Тип термоэлектрических преобразователей	Условное обозначение НСХ преобразования	Материал термоэлектрода		Диапазон измерений при длительном применении, °С	Предельная температура при кратковременном применении, °С
		положительного	отрицательного		
ТХА	ХА(К)	Сплав хромель НХ 9,5 (90,5% Ni+9,5% Cr)	Сплав алюмель НМц АК2-2-1 (94,5% Ni+5,5% Al, Si, Mn, Co)	Минус 200 – плюс 1000	1300

2. НСХ преобразования термопар, т.е. зависимость т.э.д.с. термопар от температуры рабочего конца при температуре свободных концов 0°С:

- НСХ преобразования термопар в зависимости от диапазона температур должны соответствовать приведенным в табл. 1.2;

- аппроксимирующие полиномы НСХ преобразования термопар приведены в табл. 1.3.

3. Пределы допускаемых отклонений т.э.д.с. термопар термоэлектрических преобразователей в температурном эквиваленте от номинального значения рассчитываются по формулам, приведенным в табл. 1.4.

Таблица 1.2

Номинальная статическая характеристика преобразования ХА(К)  
термоэлектрических преобразователей типа ТХА  
(выборочные данные табл. 7 по ГОСТ Р 8.585-2001)

Температура рабочего конца	Т.э.д.с., мВ, для температуры, °С									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-270	-6,458									
-260	-6,441	-6,444	-6,446	-6,448	-6,450	-6,452	-6,453	-6,455	-6,456	-6,457
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
0	0,000	0,039	0,079	0,119	0,158	0,198	0,238	0,277	0,317	0,357
10	0,397	0,437	0,477	0,517	0,557	0,597	0,637	0,677	0,718	0,758
20	0,798	0,838	0,879	0,919	0,960	1,000	1,041	1,081	1,122	1,162
30	1,203	1,244	1,285	1,325	1,366	1,407	1,448	1,489	1,529	1,570
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
200	80,137	80,177	8,217	8,257	8,297	8,337	8,377	8,417	8,457	8,497
210	8,537	8,177	8,217	8,257	8,297	8,337	8,377	8,417	8,457	8,497
220	8,938	8,978	9,018	9,058	9,099	9,139	9,179	9,220	9,260	9,300
230	9,341	9,381	9,421	9,462	9,502	9,543	9,583	9,624	9,664	9,705
240	9,745	9,786	9,826	9,867	9,907	9,948	9,989	10,029	10,070	10,111
250	10,151	10,192	10,233	10,274	10,315	10,355	10,396	10,437	10,478	10,519
260	10,560	10,600	10,641	10,682	10,723	10,764	10,805	10,846	10,887	10,928
270	10,969	11,010	11,051	11,093	11,134	11,175	11,216	11,257	11,298	11,339
280	11,381	11,422	11,463	11,504	11,546	11,587	11,628	11,669	11,711	11,752
290	11,793	11,835	11,876	11,918	11,959	12,000	12,042	12,083	12,125	12,166
300	12,207	12,249	12,290	12,332	12,373	12,415	12,456	12,498	12,539	12,581
310	12,623	12,664	12,706	12,747	12,789	12,831	12,872	12,914	12,955	12,997
320	13,039	13,080	13,122	13,164	13,205	13,247	13,289	13,331	13,372	13,414
330	13,456	13,497	13,539	13,581	13,623	13,665	13,706	13,748	13,790	13,832
340	13,874	13,915	13,957	13,999	14,041	14,083	14,125	14,167	14,208	14,250

Окончание табл. 1.2

Температура рабочего конца	Т.э.д.с., мВ, для температуры, °С									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
350	14,292	14,334	14,376	14,418	14,460	14,502	14,544	14,586	14,628	14,670
360	14,712	14,754	14,796	14,838	14,880	14,922	14,964	15,006	15,048	15,090
370	15,132	15,174	15,216	15,258	15,300	15,342	15,384	15,426	15,468	15,510
380	15,552	15,594	15,636	15,679	15,721	15,763	15,805	15,847	15,889	15,931
390	15,974	16,016	16,058	16,100	16,142	16,184	16,227	16,269	16,311	16,353
400	16,395	16,438	16,480	16,522	16,564	16,607	16,649	16,691	16,733	16,776
410	16,818	16,860	16,902	16,945	16,987	17,029	17,072	17,114	17,156	17,199
420	17,241	17,283	17,326	17,368	17,410	17,453	17,495	17,537	17,580	17,622
430	17,664	17,707	17,749	17,792	17,834	17,876	17,919	17,961	18,004	18,046
440	18,088	18,131	18,173	18,216	18,258	18,301	18,343	18,385	18,428	18,470
450	18,513	18,555	18,598	18,640	18,683	18,725	18,768	18,810	18,853	18,895
460	18,938	18,980	19,023	19,065	19,108	19,150	19,193	19,235	19,278	19,320
470	19,363	19,405	19,448	19,490	19,533	19,576	19,618	19,661	19,703	19,746
480	19,788	19,831	19,873	19,916	19,959	20,001	20,044	20,086	20,129	20,172
490	20,214	20,257	20,299	20,342	20,385	20,427	20,470	20,512	20,555	20,598
500	20,640	20,683	20,725	20,768	20,811	20,853	20,896	20,938	20,981	21,024
510	21,066	21,109	21,152	21,194	21,237	21,280	21,322	21,365	21,407	21,450
520	21,493	21,535	21,578	21,621	21,663	21,706	21,749	21,791	21,864	21,876
530	21,919	21,962	22,004	22,047	22,090	22,132	22,175	22,218	22,260	22,303
540	22,346	22,388	22,431	22,473	22,516	22,559	22,601	22,644	22,687	22,729
550	22,772	22,815	22,857	22,900	22,942	22,985	23,028	23,070	23,113	23,156
560	23,198	23,241	23,284	23,326	23,369	23,411	23,454	23,497	23,539	23,582
570	23,624	23,667	23,710	23,752	23,795	23,837	23,880	23,923	23,965	24,008
580	24,050	24,093	24,136	24,178	24,221	24,263	24,306	24,348	24,391	24,434
590	24,476	24,519	24,561	24,604	24,646	24,689	24,731	24,774	24,817	24,859
600	24,902	24,944	24,987	25,029	25,072	25,114	25,157	25,199	25,242	25,284
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1000	41,269	41,308	41,347	41,385	41,424	41,463	41,502	41,541	41,580	41,619
1010	41,657	41,696	41,735	41,774	41,813	41,851	41,890	41,929	41,968	42,006
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1290	52,049	52,084	52,119	52,154	52,189	52,224	52,229	52,294	52,329	52,364
1300	52,398									

Таблица 1.3

Аппроксимирующие полиномы номинальных статических характеристик преобразования термопар

Тип термоэлектрических преобразователей	Условное обозначение НСХ преобразования	Диапазон температур, °С	Аппроксимирующие полиномы и их коэффициенты
ТХА	ХА(К)	-270 - 0	$E = \sum_{i=0}^{10} A_i t^i$ $A_0=0; A_1=3,9475433 \cdot 10^{-2};$ $A_2=2,746525251 \cdot 10^{-5};$ $A_3=-1,6565407 \cdot 10^{-7}; A_4=-1,5190912 \cdot 10^{-9};$ $A_5=-2,4881761 \cdot 10^{-11}; A_6=-2,4757918 \cdot 10^{-13};$ $A_7=-1,5585276 \cdot 10^{-15}; A_8=-5,9729921 \cdot 10^{-18};$ $A_9=-1,2688801 \cdot 10^{-20}; A_{10}=-1,1382797 \cdot 10^{-23}$
		0 - 1372	$E = \sum_{i=0}^8 A_i t^i + 0,125 \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{t-127}{65} \right)^2 \right]$ $A_0=-1,8533063 \cdot 10^{-2}; A_1=3,8918345 \cdot 10^{-2};$ $A_2=1,6645154 \cdot 10^{-5}; A_3=-7,8702374 \cdot 10^{-8};$ $A_4=2,2835786 \cdot 10^{-10}; A_5=-3,5700231 \cdot 10^{-13};$ $A_6=2,9932909 \cdot 10^{-6}; A_7=-1,2849849 \cdot 10^{-19};$ $A_8=2,2239974 \cdot 10^{-23}$

Таблица 1.4

Формулы для вычисления пределов допускаемых отклонений т.э.д.с. термопар в температурном эквиваленте от номинального значения

Тип термоэлектрических преобразователей	Условное обозначение НСХ	Класс допуска	Диапазон измерений, °С	Пределы допускаемых отклонений $\pm \Delta t$ , °С
ТХА	ХА (К)	3	От -200 до -166,7 Св. -166,7 до 40	$0,015 \cdot  t $ 2,5
		2	От -40 до 333,4 Св. 333,4 до 1300	2,5 $0,0075 \cdot t$
		1	От -40 до 375 Св. 375 до 1300	1,5 $0,004 \cdot t$

Примечания к табл.1.4:

1.  $t$  – значение измеряемой температуры;
2. Пределы допускаемого отклонения т.э.д.с. термопар термоэлектрических преобразователей  $\Delta E_D$  (мВ) следует рассчитывать по формуле

$$\Delta E_D = \Delta t \cdot \frac{dE}{dt}, \quad (3)$$

где  $\Delta t$  – предел допускаемого отклонения по табл.1.4;  
 $\frac{dE}{dt}$  – чувствительность термопары, рассчитанная для измеренного значения температуры  $t$  на основании данных табл. 1.2 и принимаемая равной

$$\frac{dE}{dt} \approx \frac{|\Delta E_{табл}|}{|\Delta t_{табл}|},$$

где  $\Delta E_{табл}$  и  $\Delta t_{табл}$  – разности двух соседних значений т.э.д.с. и соответствующих значений температур из табл. 1.2, взятых вблизи измеренного значения температуры.

В термоэлектрических термометрах термоэлектрический преобразователь соединен с *измерительным прибором*, в качестве которого применяется *потенциометр* или *милливольтметр*, измеряющий численное значение термометрического свойства термопары. Для технических измерений *нормирование метрологических характеристик* таких измерительных приборов осуществляют присвоением определенного класса точности.

*Класс точности* – это обобщенная характеристика средства измерений выражаемая пределами допускаемых значений его основной (а иногда и дополнительной) погрешности. Классы точности средств измерений устанавливаются в стандартах и технических условиях и присваиваются при их разработке. Класс точности измерительных приборов выражается обычно пределами допускаемой основной приведенной или относительной погрешности измерений.

В зависимости от характера изменения основной абсолютной погрешности средства измерений возможны различные *формы представления класса точности*. Если основная абсолютная погрешность имеет мультипликативный характер, то класс точности представляется *пределами допускаемой относительной погрешности*, определяемой по формуле

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x} \cdot 100 = \pm q, [\%], \quad (4)$$

где  $\Delta = \pm bx$  – пределы допускаемой основной абсолютной погрешности прибора;

$x$  – показания прибора;

$q$  – положительное число, показывающее класс точности прибора.

В зависимости от формы представления класса точности приняты соответствующие обозначения в документации и на средстве измерений. Если класс точности выражен в форме относительной основной погрешности, определяемой по формуле (4), то его обозначение на приборе имеет вид  $(1,0)$  (где 1,0 – конкретное значение числа  $q$ ). По известному классу точности прибора рассчитывают пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений, пользуясь формулой (4)

$$\Delta = \pm \frac{q \cdot x}{100} \quad (5)$$

## **2. Используемое оборудование**

Для выполнения лабораторной работы используются термопара хромель – алюмель термоэлектрического преобразователя ТХА 2 класса допуска, милливольтметр МПП – 254, печь сопротивления, термометр ТЛ – 2 с ценой деления  $0,5 \div 1$  °С.

## **3. Порядок выполнения работы и обработка результатов**

1. Предварительно разогреть печь сопротивления до заданной преподавателем температуры (выполняют лаборанты).

2. Соединить свободные концы термопары с милливольтметром.

3. Измерить с помощью термометра температуру окружающей среды (фактическую температуру «холодного» спая термопары).

4. Поместить рабочий («горячий») спай термопары в печь сопротивления и при установлении равновесия измерить значение т.э.д.с. с помощью милливольтметра.

5. Осторожно извлечь термопару из печи и положить на термостойкую поверхность, поскольку термопара разогрета до высокой температуры.

6. Разогреть печь до следующей заданной преподавателем температуры и согласно п.п. 3 – 5 выполнить измерение т.э.д.с. термопары, постоянно контролируя температуру «холодного» спая (окружающей среды) с помощью термометра.

7. В измеренные значения т.э.д.с.  $\Delta E_{изм}$  внести поправку  $\Delta E_{поправ}$ , рассчитанную по формуле (2), и определить фактическое значение т.э.д.с.  $\Delta E_{факт}$  по формуле (1), пользуясь табл. 1.2 для определения значений т.э.д.с. «холодного» спая при фактической температуре ( $\Delta E_{хол,t}$ ) и при 0 °С ( $\Delta E_{хол,0}$ ).

8. Определить температуры атмосферы печи по измеренным и скорректированным значениям соответствующих т.э.д.с.  $\Delta E_{факт}$ , используя номинальную статическую характеристику преобразования, приведенную в табл. 1.2.

9. Результаты измерений и расчетов оформить в виде табл. 3.1.

10. Определить пределы допускаемых отклонений т.э.д.с. термопары термоэлектрического преобразователя ТХА в температурном эквиваленте от но-

минального значения для измеренных значений температур в печи по формуле (3). Результаты расчетов занести в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Результаты измерений и расчетов

№ опыта	Значения т.э.д.с. термопары, мВ					Температура, °С		Пределы допускаемых отклонений	
	$\Delta E_{изм}$	$\Delta E_{хол,t}$	$\Delta E_{хол,0}$	$\Delta E_{поправ}$	$\Delta E_{факт}$	«ХОЛОДНОГО» спая $t_{хол}$	в печи $t$	температуры $\pm \Delta t, ^\circ\text{C}$	т.э.д.с. $\pm \Delta E_d,$ мВ
1									
2									
3									

11. Схематично изобразить конструкцию применяемой в лабораторной работе термопары, подключенной к милливольтметру, и занести в табл. 3.2 ее основные метрологические характеристики.

Таблица 3.2

Основные метрологические характеристики термопары

Тип преобразователя	Обозначение НСХ	Диапазон измерений при длительном применении, °С	Предельная температура при кратковременном применении, °С	Полином НСХ	Пределы допускаемых отклонений	
					$\pm \Delta t,$ °С	$\pm \Delta E_d,$ мВ

12. Определить метрологические характеристики милливольтметра и занести их в табл. 3.3.

Основные метрологические характеристики милливольтметра

Класс точности	Тип шкалы (равномер., неравномер.)	Диапазон показаний, мВ	Характер абсолютной погрешности (аддитивн., мультиплик., совместный)	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений т.э.д.с. для каждого опыта из табл. 3.1, определенные по формуле $\Delta = \pm \frac{q \cdot \Delta E_{изм}}{100}, \text{ мВ}$		
				1	2	3

13. Сделать выводы по работе.

#### 4. Контрольные вопросы

1. Что называют термометрическим веществом и свойством?
2. Какие методы измерений температуры называют контактными и бесконтактными?
3. Назовите основные узлы приборов для измерения температуры и охарактеризуйте их на примере термопар.
4. В чем заключается принцип действия термоэлектрических преобразователей?
5. Что называют статической характеристикой преобразования, и в каком виде она может быть представлена?
6. Когда необходимо вносить поправку в измеренное значение т.э.д.с., и как это осуществляют?
7. Какие материалы применяют для изготовления термопар, и какие требования к ним предъявляют?
8. Какова конструкция термопар?
9. Назовите и поясните основные метрологические характеристики термопар.
10. Как определить пределы допускаемого отклонения т.э.д.с. термопар в температурном эквиваленте от номинального значения?

## РАЗДЕЛ 5. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ ВЯЗКОСТИ

*Вязкость* – это свойство жидких и газообразных веществ оказывать сопротивление перемещению одного слоя относительно другого. Различают динамическую, кинематическую и условную вязкость.

*Динамическая вязкость*  $\eta$  [Па·с] численно равна тангенциальной силе, вызывающей сдвиг слоев жидкости (газа) в расчете на единицу площади, необходимой для поддержания разности скоростей между этими слоями, равной единице, при расстоянии между этими слоями тоже равном единице. При вискозиметрических измерениях в качестве образцовой жидкости принята дистиллированная вода, динамическая вязкость которой составляет  $\eta_{H_2O}^{20} = 1,005 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

*Кинематическая вязкость*  $\nu$  [м<sup>2</sup>/с или стокс (ст)] – это отношение динамической вязкости жидкости (газа) к ее плотности при той же температуре

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}.$$

*Условная вязкость* – это отношение времени истечения (в секундах) из вискозиметра Энглера 200 мл испытуемого продукта при данной температуре ко времени истечения 200 мл дистиллированной воды при температуре 20 °С. Условная вязкость выражается в градусах Энглера °E<sub>t</sub>. Определение условной вязкости применяют при испытании нефтепродуктов.

*Вязкость зависит от температуры:* при увеличении  $t$  вязкость газов возрастает, а вязкость жидкостей быстро уменьшается, поэтому при вискозиметрических измерениях применяют *термостатирование* и указывают температуру, при которой проводят измерения.

*В основе методов измерений вязкости* лежат математические зависимости, описывающие *разные виды течения сред*:

- ламинарный (стационарный слоистый) поток в капиллярной трубке – поток Пуазейля;
- кюветный поток (в пространстве между двумя концентрическими вращающимися цилиндрами);
- поток, образующийся при осевом перемещении двух концентрических цилиндров;
- нестационарные слоистые потоки.

Измерительными приборами для определения вязкости являются *вискозиметры*, различные типы которых основаны на использовании разных видов течения сред. Для определения динамической или кинематической вязкости применяют следующие *типы вискозиметров*: капиллярные, ротационные, с перемещающимися концентрическими цилиндрами, вибрационные, с движущимся шариком (на основе закона Стокса).

## Лабораторная работа № 5 Средства измерений вязкости веществ

**Цели работы:** изучение методов поверки вискозиметров; экспериментальное определение основных метрологических характеристик вискозиметров типа ВПЖ и ВУ и их оценка на соответствие нормированным значениям.

### 1. Общие сведения

В основе метода измерения вязкости *капиллярными вискозиметрами* лежит закон Пуазейля, согласно которому определяемая динамическая вязкость пропорциональна разности давлений на входе и выходе капилляра. Измерение вязкости заключается в измерении времени протекания известного объема жидкости или газа через капилляры при постоянном перепаде давлений. Типы, технические и метрологические характеристики стеклянных капиллярных вискозиметров регламентируются ГОСТ 10028-81 «Вискозиметры капиллярные стеклянные. Технические условия». Конструкции вискозиметров типа ВПЖ-2 и ВПЖ-4 для определения вязкости прозрачных жидкостей приведены на рис. 1.1, а основные метрологические характеристики в табл. 1.1.

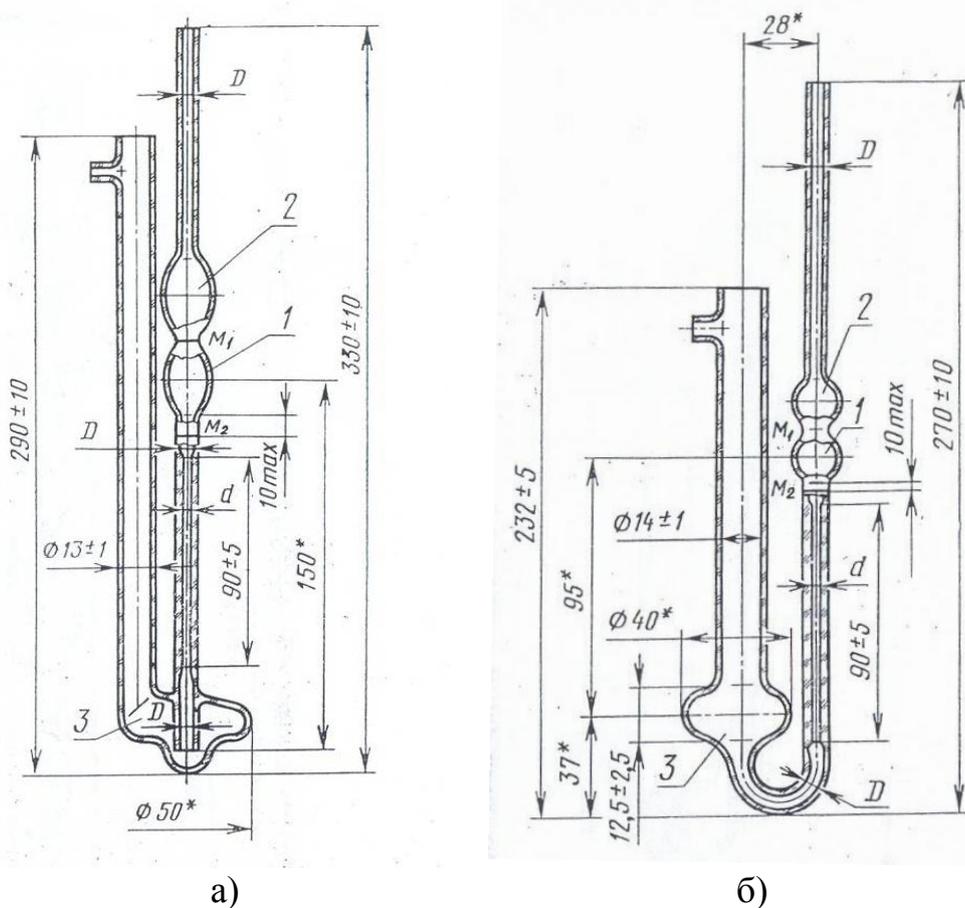


Рис.1.1. Конструкции стеклянных капиллярных вискозиметров:  
а – ВПЖ-2; б – ВПЖ-4; 1 – измерительный резервуар; 2,3 - вспомогательные резервуары;  $M_1$  и  $M_2$  – отметки измерительного резервуара

Таблица 1.1

Основные метрологические и технические характеристики  
 вискозиметров ВПЖ-2 (ø 0,34 мм), ВПЖ-4 (ø 0,37 мм) по ГОСТ 10028-81

Тип вискозиметра	Номинальное значение постоянной $K$ , мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup>	Диапазон измерений вязкости, мм <sup>2</sup> /с	Диаметр капилляра $d$ , мм		Диаметр трубки $D$ , мм (пред. откл. ± 0,2)	Объем измерительного резервуара $V$ , см <sup>3</sup>
			номин.	пред. откл.		
ВПЖ-2	0,003	0,6 - 3	0,34	± 0,02	3,0	1,5 ± 0,2
ВПЖ-4	0,003	0,6 – 3	0,37	± 0,02	2,5	1,5 ± 0,2

*Допускаемая погрешность* определения постоянных  $K$  вискозиметров ± 0,3%

Значение постоянной вискозиметра устанавливает предприятие-изготовитель и указывает в паспорте прибора. Определяют постоянную  $K$  в соответствии с требованиями МИ 1748-87 ГСИ «Вискозиметры капиллярные стеклянные. Методика поверки», а методика приведена в п.4.2 лабораторной работы. Метод измерений кинематической вязкости жидких нефтепродуктов регламентируется ГОСТ 33-2000 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости», согласно которому осуществляется измерение времени истечения определенного объема жидкости под действием силы тяжести через калиброванный стеклянный капиллярный вискозиметр при постоянной температуре. Методика проведения испытаний жидкостей приведена в п. 3.2 (п.п. 1 – 6) лабораторной работы.

Для определения условной вязкости нефтепродуктов применяют *вискозиметры Энглера типа ВУ* (рис. 1.2), технические и метрологические характеристики которых приведены в ГОСТ 1532-81 «Вискозиметры для определения условной вязкости. Технические условия».

Вискозиметр Энглера состоит из двух цилиндров: внутреннего резервуара 4, в который помещают испытуемый продукт, и ванны 6 – для жидкости, обогревающей или охлаждающей продукт. В выпуклом дне резервуара 4 выполнено сточное калиброванное отверстие в виде трубки, закрываемое стержнем 2. Резервуар 4 закрывается крышкой 5 с двумя отверстиями для стержня 2 и термометра 1 для измерения температуры испытуемого продукта. К стенкам ванны 6 прикреплены мешалка 3 и термометр 1 для измерения температуры жидкости в ванне. Весь аппарат установлен на железном треножнике с регулировочными винтами для выравнивания горизонтальности прибора. Для изменения температуры жидкости в ванне 6 применяют нагреватель 7, соединенный с регулятором мощности 9. К вискозиметру прилагается измерительная колба 8, на которой указана емкость 200 мл и температура, при которой она калибрована.

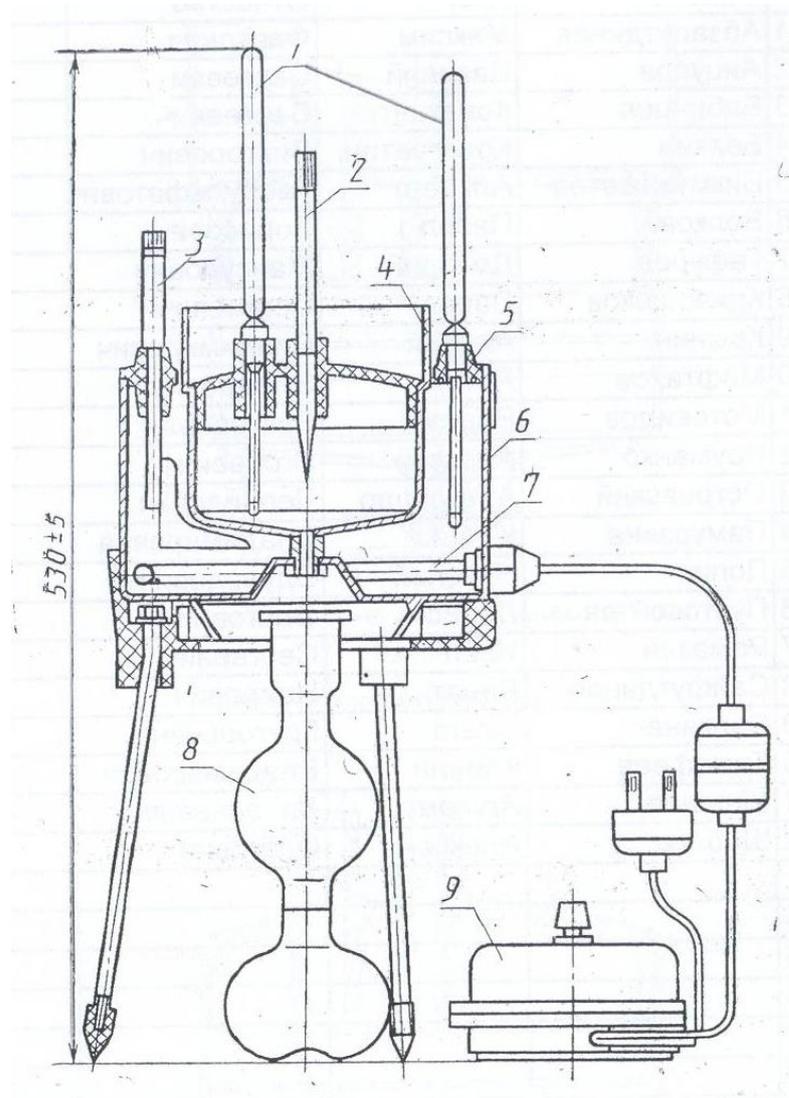


Рис.1.2. Конструкция вискозиметра типа ВУ:

- 1 – термометры; 2 – стержень; 3 – мешалка; 4 – резервуар;  
 5 – крышка; 6 – ванна; 7 – нагреватель; 8 – измерительная колба;  
 9 – регулятор мощности

Метод измерений условной вязкости регламентируется ГОСТ 6258-85 «Нефтепродукты. Метод определения условной вязкости». Основной метрологической характеристикой вискозиметра Энглера является его *постоянная (водное число)*, которую определяют перед проведением испытаний. Водное число вискозиметра – это время истечения 200 мл дистиллированной воды при 20 °С, которое должно быть в пределах 50-52 с. Методика определения водного числа приведена в п.3.1 лабораторной работы.

## **2. Используемое оборудование**

Для выполнения лабораторной работы используются вискозиметры стеклянные типа ВПЖ-2, ВПЖ-4 и ВУ для определения условной вязкости; мерная колба на 200 мл к вискозиметру ВУ; термометры ТЛ-2 с ценой деления 1...0,5 °С и ТН-3-1 к вискозиметру ВУ; химические стаканы на 2000 мл для термостатирования; секундомеры; штатив; воронка; фильтровальная бумага.

### **3. Порядок выполнения работы и обработка результатов**

#### **3.1. Определение постоянной (водного числа) вискозиметра ВУ согласно ГОСТ 6258-85**

1. Вискозиметр ВУ (см. рис.1.2) с предварительно промытым и высушенным внутренним резервуаром вставить в прорези треножника и закрыть зажимными винтами. В верхнее отверстие сточной трубки вставить чистый сухой стержень.

2. В предварительно промытую измерительную колбу отфильтровать дистиллированную воду, имеющую температуру 20 °С, через фильтровальную бумагу.

3. Дистиллированную воду из измерительной колбы по стеклянной палочке, избегая разбрызгивания, налить во внутренний резервуар вискозиметра до риски, указывающей уровень. Опорожненную колбу подставить под сточную трубку внутреннего резервуара.

4. Водой такой же температуры 20 °С заполнить ванну вискозиметра («водяную баню») до расширенной верхней части внутреннего резервуара.

5. Отрегулировать горизонтальность плоскости уровня воды вращением установочных винтов треножника вискозиметра.

6. Приподнять стержень из сточной трубки внутреннего резервуара и выпустить всю воду из него в колбу, не измеряя времени ее истечения. При этом вся сточная трубка наполняется водой с формированием крупной капли в ее нижней части.

7. Поместить стержень обратно в сточную трубку, аккуратно по стеклянной палочке вылить воду из колбы в резервуар, а опорожненную колбу выдержать 1-2 минуты в опрокинутом положении для свободного истечения остатков воды и поставить вновь под сточную трубку резервуара.

8. Воду во внутреннем резервуаре тщательно перемешать, вращая крышку со вставленным в нее термометром вокруг стержня. Воду в «водяной бане» перемешать с помощью крыльчатой мешалки. Убедиться, что температура в резервуаре и бане равна 20 °С и в течение 5 мин ее отклонение не превышает  $\pm 0,5$  °С.

9. Быстро приподнять стержень, одновременно включить секундомер и наблюдать истечение воды из резервуара в колбу. Когда нижний край мениска жидкости достигнет кольцевой метки на колбе, соответствующей вместимости 200 см<sup>3</sup>, остановить секундомер.

10. Измерения времени истечения 200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды произвести последовательно три раза, для чего повторить п.п. 7 – 9 еще два раза. Результаты первой серии измерений занести в табл. 3.1.

11. Провести еще одну серию из трех измерений согласно п.п. 7 – 10, результаты которых занести также в табл. 3.1.

12. По результатам измерений определить среднее арифметическое в каждой серии опытов и отклонения каждого результата измерений  $\tau_i$  от среднего в первой  $\tau_{cp1}$  и второй  $\tau_{cp2}$  сериях.

13. Сравнить значения фактических отклонений  $\tau_i$  от  $\tau_{cp}$  с *нормированным* 0,5 с по ГОСТ 6258-85 и в соответствующей ячейке табл. 3.1 записать, является (или не является) рассчитанное среднее арифметическое значение средним результатом измерений в каждой серии опытов.

14. Сравнить средние результаты  $\tau_{cp1}$  и  $\tau_{cp2}$ , полученные в обеих сериях измерений. Если различие между ними не превышает *нормированное значение* 0,5 с, то определить постоянную (водное число) вискозиметра как среднее арифметическое результатов всех шести проведенных измерений  $\tau_{20}^{H_2O}$  и занести в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Результаты измерений и расчета постоянной (водного числа)  $\tau_{20}^{H_2O}$  вискозиметра типа ВУ для определения условной вязкости

№ опыта	Время $\tau_i$ , с	Отклонение от среднего $ \tau_i - \tau_{cp} $ , с		Различие средних значений в сериях $ \tau_{cp1} - \tau_{cp2} $ , с		Значение водного числа $\tau_{20}^{H_2O} = \frac{\sum_{i=1}^6 \tau_i}{6}$ , с			
		фактическое	нормированное	фактическое	нормированное	фактическое	нормированное		
1 серия	1		0,5	-	0,5	От 50,0 до 52,0			
	2			-					
	3			-					
	$\tau_{cp1}$	Является (не является) средним результатом							
2 серия	1		0,5	-	0,5			От 50,0 до 52,0	
	2			-					
	3			-					
	$\tau_{cp2}$	Является (не является) средним результатом							
<p><i>Заключение:</i> вискозиметр к определению вязкости допускается (не допускается)</p>									

15. Сравнить полученное значение водного числа с нормированным по ГОСТ 6258-85: для стандартного вискозиметра время истечения через сточную трубку 200 см<sup>3</sup> воды при температуре 20 °С должно быть от 50,0 до 52,0 с.

16. Сделать вывод о возможности допуска вискозиметра к определению вязкости и отразить его в табл. 3.1.

3.2. Определение постоянной вискозиметра типа ВПЖ-2 и ВПЖ-4 при поверке по двум градуировочным жидкостям согласно МИ 1748-87 ГСИ

Поверку вискозиметров проводят при температуре 20 °С в термостате по двум градуировочным жидкостям. В качестве градуировочных жидкостей в ла-

бораторной работе используются дистиллированная вода и раствор глицерина. Постоянную вискозиметров определяют отношением вязкости градуировочных жидкостей ко времени их истечения через капилляр данного вискозиметра. Время истечения жидкостей на поверяемом вискозиметре должно быть в пределах 200...1000 с.

1. На отводную трубку вискозиметра (см. рис. 1.1) надеть резиновую трубку с грушей, перевернуть прибор, закрыть отверстие широкой трубки и опустить узкую трубку в сосуд с первой градуировочной жидкостью – дистиллированной водой.

2. С помощью резиновой груши поднять жидкость по узкой трубке до метки  $M_2$  так, чтобы не образовывались пузырьки воздуха, а затем вискозиметр быстро перевернуть в исходное положение. С внешней стороны узкой трубки снять избыток жидкости фильтровальной бумагой или салфеткой.

3. Вискозиметр установить в вертикальное положение в штативе в водяной термостат так, чтобы уровень воды в нем находился выше уровня верхнего резервуара вискозиметра.

4. Убедиться, что температура воды в термостате 20 °С, измерив ее с помощью термометра. Выдержать вискозиметр в термостате при данной температуре в течение 15 мин, а затем начать измерения.

5. На узкую трубку надеть резиновую трубку и при помощи резиновой груши поднять градуировочную жидкость в узкую трубку до  $\frac{1}{3}$  высоты резервуара 2.

6. Секундомером определить время истечения жидкости от отметки  $M_1$  до  $M_2$  (отмечать по нижнему краю мениска).

7. Провести еще два измерения времени истечения жидкости, выполнив п.п. 5 – 6. Результаты занести в Протокол поверки, представленный в табл. 3.2.

8. Опорожнить вискозиметр через отверстие широкой трубки, снимая остатки жидкости фильтровальной бумагой, и подготовить его к измерениям по второй градуировочной жидкости – раствору глицерина.

9. Выполнить п.п. 1 – 8 с использованием раствора глицерина.

10. Рассчитать и занести в табл. 3.2 среднеарифметические значения времени истечения, а также постоянной вискозиметра для каждой градуировочной жидкости, вычисленные по формулам

$$K' = \frac{g_{норм}}{g} \cdot \frac{V_1}{\tau_1},$$

$$K'' = \frac{g_{норм}}{g} \cdot \frac{V_2}{\tau_2},$$

где  $g_{норм} = 9,807 \text{ м/с}^2$  – нормальное ускорение свободного падения;

$g = 9,817 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения в месте определения постоянной;

$\nu_1$  и  $\nu_2$  – кинематическая вязкость градуировочных жидкостей соответственно дистиллированной воды и раствора глицерина, сСт;

$\tau_1$  и  $\tau_2$  – среднеарифметические значения времени истечения градуировочных жидкостей, с

Таблица 3.2

Протокол поверки вискозиметров типа ВПЖ-2 и ВПЖ-4

Вискозиметр № \_\_\_\_\_ тип \_\_\_\_\_

Дата поверки \_\_\_\_\_

Прибор принадлежит \_\_\_\_\_

Измерение времени истечения градуировочной жидкости			
Вязкость градуировочной жидкости, сСт	Дистиллированная вода		Раствор глицерина
	$\nu_1 =$		$\nu_2 =$
Время истечения градуировочной жидкости, с	1		
	2		
	3		
Среднеарифметическое значение времени истечения, с			
Постоянная, сСт/с		$K' =$	$K'' =$
<p>Среднее округленное значение постоянной</p> $K = \frac{K' + K''}{2} = \dots, \text{сСт/с}$ <p>Расхождение в значениях постоянных</p> $\frac{ K' - K'' }{K} \cdot 100\% = \dots, \%$			
Дата _____			
Поверитель _____		_____	
(ФИО)		(подпись)	

11. Рассчитать значение постоянной поверенного вискозиметра как среднеарифметическое значений  $K'$  и  $K''$ , а также определить расхождение в значениях постоянных по формулам, приведенным в табл. 3.2.

12. Результаты поверки оформить в виде протокола (табл. 3.2).

13. Сравнить полученное значение расхождения постоянных вискозиметра для разных жидкостей с *нормированным 0,6 %* по МИ 1748-87 ГСИ для вискозиметров ВПЖ-2 и ВПЖ-4, у которых номинальные значения постоянных составляют 0,003 сСт/с, и сделать вывод об удовлетворительности (или неудовлетворительности) значения постоянной, а также заключение по результатам поверки о допуске (или не допуске) вискозиметра к определению вязкости.

### 3.3. Сделать выводы по работе

#### **4. Контрольные вопросы**

1. Сформулируйте определение вязкости. Какие виды вязкости Вам известны?
2. Что такое динамическая, кинематическая и условная вязкости?
3. Какой принцип измерений лежит в основе капиллярных вискозиметров?
4. Какова конструкция вискозиметров типа ВПЖ-2 и ВПЖ-4?
5. Назовите основные метрологические характеристики вискозиметров типа ВПЖ-2 и ВПЖ-4.
6. Какова методика определения кинематической вязкости жидкости с помощью вискозиметров типа ВПЖ-2 и ВПЖ-4?
7. Как осуществляют поверку стеклянных капиллярных вискозиметров для определения постоянной К?
8. Какова конструкция вискозиметра Энглера?
9. Охарактеризуйте метод определения условной вязкости нефтепродуктов с помощью вискозиметра ВУ.
10. Какова методика определения постоянной (водного числа) вискозиметра ВУ?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сажин С.Г. Приборы контроля состава и качества технологических сред [Электронный ресурс]: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 432 с.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений [Текст]: Учебник для вузов / Раннев Г.Г., Тарасенко А.П. - М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 336 с.
3. Лабораторный практикум по контрольно-измерительным процессам в отрасли [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.В.Шубина, Е.С.Махоткина. – Магнитогорск: ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2016. – 46 с. – Режим доступа: <http://magtu.ru:8085/marcweb2/Default.asp> – Загл. с титул. экрана.
4. Махоткина Е.С. Растворы электролитов и неэлектролитов [Текст]: учеб. пособие / Махоткина Е.С., Шубина М.В., Крылова С.А. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос.техн.ун-та им.Г.И.Носова, 2012. – 91 с.
5. Шкуратник, В.Л. Измерения в физическом эксперименте [Текст]: Учеб. для вузов. – М.: Издательство Академии горных наук, 2000. – 256 с.
6. Махоткина Е.С. Растворы [Текст]: учеб. пособие / Махоткина Е.С., Шубина М.В. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос.техн.ун-та им. Г.И. Носова, 2006. - 67 с.
7. Измерения в промышленности [Текст]: Справ. изд. В 3-х кн. Кн.1. Теоретические основы. Пер. с нем./Под ред. Профоса П. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. - 492 с.
8. Классические методы анализа [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е.С.Махоткина, М.В.Шубина. – Магнитогорск: ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2016. – 49 с. – Режим доступа: <http://magtu.ru:8085/marcweb2/Default.asp> – Загл. с титул. экрана.
9. Измерения в промышленности [Текст]: Справ. изд. В 3-х кн. Кн.2.Способы измерения и аппаратура. Пер. с нем./Под ред. Профоса П. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. - 384 с.
10. Хроматографический анализ [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е.С.Махоткина, Н.Ю.Свечникова, М.В.Шубина, В.И.Сысоев. – Магнитогорск: ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2017. – 54 с. – Режим доступа: <http://magtu.ru:8085/marcweb2/Default.asp> – Загл. с титул. экрана.
11. Измерения в промышленности [Текст]: Справ. изд. В 3-х кн. Кн.3.Способы измерения и аппаратура. Пер. с нем./Под ред. Профоса П. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. - 344 с.
12. Тартаковский, Д.Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений [Текст]: Учебник для вузов / Тартаковский Д.Ф., Ястребов А.С. - М.: Высш. шк., 2008. – 205 с.

Учебное текстовое электронное издание

**Шубина Марианна Вячеславовна  
Махоткина Елена Станиславовна**

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ**

Практикум

1,65 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2018 год  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»  
Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,  
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова»  
Кафедра физической химии и химической технологии  
Центр электронных образовательных ресурсов и  
дистанционных образовательных технологий  
e-mail: ceor\_dot@mail.ru