

ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Т.Г. ШЕВЧЕНКО
Естественно-географический факультет

Кафедра техносферной безопасности

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Лабораторный практикум

Тирасполь, 2017

УДК [614.8:389] (076.5)
ББК Ц9я73+Ж10я73
Т38

Составитель:

Е.Д. Жужа, канд. биол. наук, доцент.

Рецензенты:

В.В. Ени, канд. пед. наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность»

А.Я. Бачу, канд. биол. наук, доцент кафедры биологии

Т38 **Техносферная безопасность: лабораторный практикум / Сост.**
Е.Д. Жужа. – Тирасполь, 2017. – 64 с. – 19 ил.

Практикум составлен в соответствии с программой курсов «Гидрогазодинамика», «Производственная санитария», «Техническая оценка зданий и сооружений» для студентов естественно-географического факультета по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» по профилям: «БЖ в техносфере», «Пожарная безопасность», «Защита в ЧС» дневного и заочного отделений. В практикуме представлено описание приборов и методов определения искомых величин и параметров, рассмотрены краткие теоретические сведения по разделам метрологии: «Гидростатика и гидродинамика», «Газодинамика», «Параметры производственного микроклимата», «Измерение линейных величин».

Пособие может быть использовано преподавателями для проведения занятий, а также студентами для аудиторного и самостоятельного изучения дисциплин.

УДК [614.8:389] (076.5)
ББК Ц9я73+Ж10я73
Т38

Рекомендовано Научно-методическим советом ПГУ им. Т.Г. Шевченко

© Е.Д. Жужа, составление, 2017

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Лабораторный практикум

Жужа Е.Д.

Подписано в печать 07.02.2017.

Формат 60 × 90/16. усл. печ. л. 4,0.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
I. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ	5
§ 1. ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.....	5
§ 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ.....	5
§ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ....	7
II. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА	7
Лабораторная работа №1	9
Тема: ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ ОСВАЛЬДА	
Лабораторная работа № 2	13
Тема: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ	
Лабораторная работа № 3	16
Тема: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТЕЙ ПИКНОМЕТРОМ И С ПОМОЩЬЮ АРЕОМЕТРОВ	
Лабораторная работа № 4	18
Тема: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА	
Лабораторная работа № 5	22
Тема: ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ АНЕМОМЕТРОВ	
Лабораторная работа № 6	28
Тема: ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ НА УСЛОВИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА	
Лабораторная работа № 7	18
Тема: ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ВЕЛИЧИН	
Приложения	41
ЛИТЕРАТУРА	46

ПРЕДИСЛОВИЕ

Практикум по лабораторным работам для студентов направления «Техносферная безопасность» предполагает значительную самостоятельную работу как на этапе предварительной подготовки к работе, так и при выполнении работы, ее оформлении и проведении расчетов.

Подготовка к выполнению лабораторной работы

По алгоритму, помещенному в начале каждой работы (после цели работы), разберитесь в теоретических основах изучаемого явления. Ознакомьтесь с описанием приборов или установок, необходимых для выполнения данной лабораторной работы, изучите описание метода измерения или исследования. Согласно ходу работы, подготовьте форму протокола для занесения результатов измерений и построения графиков исследуемых зависимостей. Продумайте возможные пути расчета погрешностей.

В данном пособии вы можете найти ответы на основные, возникающие по ходу выполнения работы вопросы, однако желательно, чтобы предварительная часть работы была проделана самостоятельно.

Выполнение лабораторной работы

При выполнении работы строго придерживайтесь намеченного хода работы. Все операции проводите самостоятельно, отчетливо представляя цель каждого этапа исследования (работы). Строго соблюдайте правила техники безопасности. Измерения и наблюдения проводите с максимальной тщательностью, результаты измерений сразу заносите в рабочую тетрадь. Будьте во всем предельно аккуратны. Бережно относитесь к лабораторному оборудованию, приборам, аппаратам, реактивам. Будьте внимательны и доброжелательны к товарищам по работе. После окончания работы приведите свое рабочее место в порядок (слейте растворы и жидкости, сполосните посуду, сдайте преподавателю те приборы, которые получали у него в начале работы, и т. д.). Подпишите у преподавателя протокол исследования (полученный результат) в рабочей тетради.

После выполнения лабораторной работы

Повторите теоретический материал к выполненной работе, устройство приборов и аппаратов, метод измерения и исследования. Оформите выполненную работу (в специальной тетради) по форме:

1. *Номер лабораторной работы*
2. *Тема работы*
3. *Цель работы*
4. *Приборы и принадлежности*
5. *Краткая теория (письменные ответы на контрольные вопросы)*
6. *Схема прибора, установки, их краткое описание*
7. *Ход работы*
8. *Таблица с результатами измерений*
9. *Расчетные формулы и необходимые табличные данные*
10. *Расчет определяемой величины, построение графиков полученных зависимостей; расчет погрешностей*
11. *Вывод.*

Предлагаемая форма отчета является ориентировочной, в ней допускаются изменения, обусловленные характером работы, а также обеспеченностью учебной литературой.

I. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

§ 1. ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Процесс измерения физической величины заключается в сравнении ее с величиной, принятой за единицу измерения. При этом устанавливается, сколько раз единица измерения содержится в измеряемой величине.

Существуют прямые и косвенные измерения. В *прямых измерениях* результат получают непосредственно из опыта (например, измерение тела с помощью штангенциркуля, измерение силы тока с помощью амперметра, температуры – с помощью термометра).

В большинстве случаев проводятся *косвенные измерения*, когда искомую физическую величину определяют путем расчета, используя функциональную связь (известную зависимость) между этой величиной и величинами, измеряемыми непосредственно, например, скорость движения объекта v можно рассчитать, измерив пройденный им путь S и затраченное на это время t , и применив известную формулу ($v = S/t$).

§ 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Точность в технике – степень приближения истинного значения параметра процесса, вещества, предмета к его номинальному значению. Истинное значение физической величины абсолютно точно определить нельзя.

Полученное в результате измерений численное значение физической величины всегда отличается от истинного значения, т.к. все измерения содержат погрешности, характер и причины которых могут быть различны.

Причинами погрешностей могут быть: несовершенство измерительных приборов или метода измерения, несовершенство органов чувств экспериментатора или его невнимательность, изменчивость внешних условий.

При измерении физических величин под действием самых разнообразных причин возникают *погрешности* измерений. Все погрешности принято подразделять на *систематические*, *случайные* и *промахи* (ошибки).

Систематические погрешности

Систематической называют такую погрешность, которая остается постоянной или закономерно изменяется при повторных измерениях одной и той же величины.

Такие погрешности появляются вследствие неисправности приборов, неточности метода исследования, каких-либо упущений экспериментатора (выставлен ли прибор изначально на положение «ноль», не воздействуют ли какие-либо внешние помехи, например, лишний груз на чашке весов), а также при использовании для вычислений неточных зависимостей (формул), констант и т.д. На приборах ставится класс точности (выше этого предела точности на данном приборе не добиться).

Измерительным прибором мы называем такое устройство, с помощью которого осуществляется сравнение измеряемой величины с единицей измерения. В устройстве любого исправного прибора заложена та или иная систематическая погрешность, которую нельзя устранить, но которую можно учесть. Прибор может давать систематическую погрешность по ряду причин: изогнута стрелка прибора, гири (разновес) со временем потеряли свою эталонность и т.д. Подобного рода систематические погрешности дают отклонения в одну сторону, либо увеличивая, либо уменьшая результат измерений, т.е. эти погрешности характеризуются постоянством знака. В том случае, когда известна причина систематической погрешности

прибора, ее необходимо устранить с помощью ремонта или регулировки прибора, а если это невозможно, – учесть, вводя соответствующую поправку к результату измерений.

Сам метод исследования также может стать причиной систематических погрешностей.

Так, например, даже при точном взвешивании на аналитических весах результат искажается за счет выталкивающей силы Архимеда, как правило, по-разному действующей на тело и гири.

При очень многих электрических измерениях пренебрегают сопротивлением соединительных проводов, часто также не учитываются изменения условий, в которых производятся измерения (температура, давление и пр.), – все это приводит к систематическим погрешностям.

Погрешности метода могут содержаться в приблизительном характере формул, по которым рассчитываются определяемые физические величины, так как функциональные зависимости тоже определяются только с определенной степенью точности.

Погрешности метода, если они известны, могут быть устранены путем использования более точного метода измерения или получения более точной формулы.

Систематические погрешности, связанные с различного рода упущениями экспериментатора, уменьшаются, если экспериментатор выработал в себе такие качества, как внимательность и аккуратность.

Систематические погрешности, наконец, могут обуславливаться и свойствами объекта измерения. Такая погрешность может возникнуть, например, если измерять диаметр цилиндра даже несколько раз, но в одном месте. Правильней будет измерять диаметр в различных местах по длине цилиндра и брать среднее арифметическое значение всех измерений.

Методические погрешности

Методические погрешности подразделяются на *случайные погрешности* и *промахи*.

1) Случайной называется погрешность, которая вызывается действием не поддающихся контролю многочисленных, независимых друг от друга факторов. Случайные погрешности с одинаковой вероятностью дают отклонения в обе стороны.

Предположим, что эксперимент состоит в ряде повторных измерений некоторой физической величины, причем метод измерения и влияющие на эксперимент внешние условия сохраняются неизменными.

Если даже исключить возможность систематических погрешностей (путем специального исследования и проверки метода измерений), то все же окажется, что последовательные измерения дают различные результаты. Это явление объясняется действием большого количества факторов, общий эффект которых создает некоторую случайную погрешность. К числу таких факторов относятся, например, физиологические изменения органов чувств исполнителя, различные не учитываемые изменения в среде (температура, оптические, электрические и магнитные свойства, влажность и т.д.). Значение случайной погрешности колеблется от одного измерения к другому, что делает невозможным точное предсказание результата в каждом отдельном измерении.

Однако при рассмотрении повторных измерений обнаруживается характерная закономерность результатов, их определенная устойчивость, которая и служит основой для математической обработки опытных данных, вычисления случайных погрешностей.

2) Промахом или ошибкой называют такую погрешность измерения, которая оказывается значительно больше или меньше ожидаемой при данных условиях. Они возникают из-за грубых ошибок экспериментатора (сделан неверный отсчет, неверно записан результат измерения, допущена ошибка при вычислении и т.д.) или нарушения нормальной работы приборов.

Если ошибка допущена в одном измерении из нескольких, сделанных верно, то, сравнивая числовые значения полученных результатов или их абсолютных погрешностей, ее можно интуитивно обнаружить: результат, полученный ошибочно, резко отличается от результатов других измерений, а абсолютная погрешность-ошибка – имеет значение, значительно превышающее абсолютные погрешности других измерений.

Ошибка обязательно должна быть исключена из результатов измерений (такие результаты нужно просто отбросить, как недостоверные). Существует более строгий, чем интуитивный, метод обнаружения ошибки, он будет рассмотрен ниже.

Итак, систематические погрешности можно устранить или учесть, промахи (ошибки) следует отбросить, а случайные погрешности необходимо учитывать путем специальной математической обработки результатов, полученных при измерении.

§ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Математическая обработка результатов измерений

Случайные погрешности имеют статистический характер, их математическая обработка производится с помощью теории вероятностей. При многократном измерении равновероятно получить результат как больший, так и меньший, чем истинное значение измеряемой величины.

Пусть проведено n измерений величины x ; и в результате получено n значений: x_1, x_2, \dots, x_n . Величина

$$x_{cp} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (1)$$

называемая *средним арифметическим значением*, является хорошим приближением к истинному значению измеряемой величины и иногда используется как окончательный итог серии измерений.

II. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Рассмотрим несколько этапов упрощенной математической обработки результатов измерений и оценим возникающие при этом погрешности:

1. Находим *среднее арифметическое значение* x_{cp} измеряемой величины.
2. Вычисляем абсолютные погрешности результатов отдельных измерений.

Абсолютной погрешностью отдельного измерения $|\Delta x_i|$ называется разность между средним значением измеряемой величины и значением, полученным при данном измерении:

$$|\Delta x_i| = |x_i - x_{cp}| \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

Абсолютная погрешность имеет размерность измеряемой величины и характеризует качество отдельных измерений: те измерения, у которых абсолютная погрешность меньше, выполнены более точно. Знак «+» (или «-») у абсолютной погрешности данного измерения показывает, что результат, полученный при данном измерении, получился больше (или меньше) среднего значения измеряемой величины.

3. Вычисляем *среднюю абсолютную погрешность* опыта. Она находится как среднее арифметическое абсолютных значений абсолютных погрешностей отдельных измерений:

$$\overline{\Delta x} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i}{n} \quad (3)$$

4. Вычисляем *относительную погрешность* опыта. Средняя абсолютная погрешность $\overline{\Delta x}$ не характеризует точности измерения.

Пусть, например, $\overline{\Delta x} = 0,1$ мм. Высокая ли точность была в данных измерениях? На этот вопрос нельзя ответить. Дело в том, что такая погрешность, допущенная, например, при измерении толщины оси маятника ручных часов, является недопустимо большой, а при измерении расстояния между двумя городами – излишне малой.

Для оценки точности, с которой определена измеряемая величина, используют понятие относительной погрешности:

$$\varepsilon = \frac{\overline{\Delta x}}{x_{cp}} \cdot 100\% \quad (4)$$

Относительная погрешность показывает, какая часть абсолютной погрешности приходится на каждую единицу измеряемой величины. Это дает возможность оценивать точность проведенных измерений, качество работы.

Так, например, если при измерении бруска длиной $l = 1,5$ см была допущена абсолютная погрешность $0,03$ мм, а при измерении расстояния $S = 3,64 \cdot 10^5$ км от Земли до Луны абсолютная погрешность составила 100 км, то может показаться, что первое измерение выполнено намного точнее второго. Однако о точности измерения можно судить по относительной погрешности, а она показывает, что второе измерение было выполнено в семь раз точнее первого:

$$\varepsilon_l = (0,03 \text{ мм}/15 \text{ мм}) \cdot 100 \% = 0,2 \% \quad \text{и} \quad \varepsilon_S = (100 \text{ км}/364000 \text{ км}) \cdot 100 \% = 0,03 \%$$

Относительная погрешность позволяет производить сравнение точности измерений разнородных физических величин.

5. Записываем *окончательный результат*:

$$x = x_{cp} \pm \overline{\Delta x} \quad (5)$$

Если средняя абсолютная погрешность $\overline{\Delta x}$, то она определяет пределы, в которых лежит истинное значение измеряемой величины. Величина x измерена тем точнее, чем меньше интервал, в котором находится ее истинное значение: $x_{cp} \pm \overline{\Delta x}$

Мы рассмотрели простейший способ математической обработки результатов измерений, полученных в эксперименте. Этот метод не дает точных результатов и поэтому в научных исследованиях, как правило, не применяется. Он используется для расчета систематических погрешностей или для расчета случайных погрешностей в условиях учебного процесса, когда проведено три измерения, т.е. этот метод является облегченным вариантом математической обработки результатов малого количества измерений.

Лабораторная работа № 1

Тема: ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ ОСВАЛЬДА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучить понятие вязкости и основные методы определения вязкости; ознакомиться с работой вискозиметров Освальда, Гесса и Стокса; определить кинематическую вязкость исследуемой жидкости методом Освальда.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: вискозиметр Освальда, секундомер, дистиллированная вода, исследуемые жидкости, химическая посуда.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Всем реальным жидкостям и газам присуща вязкость (внутреннее трение). При течении реальной жидкости отдельные слои ее воздействуют друг на друга с силами, касательными к слоям. Это явление называют *внутренним трением* или *вязкостью*.

Вязкость зависит от природы жидкости или газа, от температуры, от давления при низких температурах. Вязкость газов увеличивается при повышении температуры, жидкостей – уменьшается. Различный характер зависимости вязкости жидкостей и газов от температуры указывает на различный механизм их внутреннего трения. Уравнение скоростей движения соседних слоев газа можно объяснить тем, что из слоя газа, движущегося с большей скоростью, переносится количество движения к слою, у которого скорость меньше, и наоборот.

В жидкостях внутреннее трение обусловлено действием межмолекулярных сил. Расстояния между молекулами жидкости сравнительно невелики, а силы взаимодействия значительны. Молекулы жидкости, подобно молекулам твердого тела, имеют т.н. «ближний порядок» и при температуре выше абсолютного нуля колеблются около положения равновесия, но эти положения не являются постоянными. По истечении времени «оседлой жизни» молекула скачком переходит в новое положение. Среднее время «оседлой жизни» молекул называется *временем релаксации* τ . С повышением температуры и понижением давления время релаксации уменьшается, что обуславливает подвижность жидкости и ее малую вязкость.

Зависимость вязкости жидкости от температуры имеет сложный характер. Чем чаще молекулы меняют свои положения равновесия, тем более текуча и менее вязка жидкость, т.е. вязкость жидкости прямо пропорциональна времени релаксации: $\eta \sim \tau$.

Все жидкости по вязкости подразделяют на *ньютоновские* и *неньютоновские*. Жидкости, которые подчиняются уравнению Ньютона (1) называют ньютоновскими, а их вязкость *нормальной*. Неньютоновские жидкости не подчиняются уравнению Ньютона и их вязкость называют *аномальной*.

$$F = \eta \frac{dv}{dx} S, \quad (1)$$

где η – коэффициент пропорциональности или динамическая вязкость; $\frac{dv}{dx}$ – градиент скорости; S – площадь взаимодействующих слоев.

Единицей вязкости является паскаль-секунда (Па·с).

Вязкость жидкости зависит от ее состояния и молекулярных свойств. Для ньютоновских жидкостей вязкость не зависит от градиента скорости, а для неньютоновских – зависит. Неньютоновские жидкости состоят из сложных и крупных молекул, их вязкость при одинаковых условиях много больше ньютоновских.

Совокупность методов измерения вязкости называют *вискозиметрией*, а приборы, используемые для этих целей, – *вискозиметрами*. Существуют несколько наиболее распространенных методов определения вязкости жидкости: капиллярный и метод падающего шарика (Стокса).

Капиллярный метод основан на формуле Пуазейля и заключается в измерении времени протекания определенного объема жидкости через вертикальный капилляр. Для протекания жидкости или газа через трубку требуется некоторая разность давлений. Зависимость между объемом V жидкости (газа), протекающей за время τ через трубку длиной ℓ , и разностью давлений ΔP на концах трубки выражается формулой Пуазейля:

$$V = \pi r^4 \Delta P \tau / 8 \eta \ell, \quad (2)$$

где r – радиус трубки, η – динамическая вязкость жидкости или газа.

Для определения вязкости по формуле (2) необходимо, чтобы течение было ламинарным, т.е. таким, при котором слои жидкости (газа) текут, не перемешиваясь. Для вихревого (турбулентного) течения формула Пуазейля несправедлива. Чтобы при обычных скоростях вихри не появились, трубка должна быть достаточно тонкой.

Более полно характер течения вязкой жидкости определяется кинематической вязкостью ν :

$$\nu = \eta / \rho, \quad (3)$$

где ρ – плотность жидкости.

Капиллярные вискозиметры бывают самой различной формы. Ими измеряют вязкость от значений $10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}$, свойственных газам, до значений $10^4 \text{ Па}\cdot\text{с}$, характерных для консистентных смазок. В медицине, например, для определения вязкости крови ($4\text{-}5 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$) чаще всего используют именно капиллярные вискозиметры.

Измерение входящих в формулу Пуазейля величин r , ℓ и ΔP провести трудно, поэтому прибегают к определению вязкости жидкости методом сравнения ее движения в данном вискозиметре с движением эталонной жидкости, вязкость которой известна, например, воды.

Капиллярный вискозиметр Освальда изображен на рис. 1. Одно колено вискозиметра представляет собой капиллярную трубку. Определённый объем воды вливают в широкое колено вискозиметра, а затем с помощью груши поднимают уровень воды в узком колене так, чтобы он поднялся чуть выше отметки A .

Сняв грушу, наблюдают за понижением этого уровня. Когда мениск проходит метку A , включают секундомер, а при прохождении метки B – выключают. Так находят время прохождения воды между метками A и B . При ламинарном течении жидкости время прохождения этого объема через капилляр длиной l будет таким же. Так же определяют время τ протекания исследуемой жидкости между метками A и B . Объем исследуемой жидкости берут равным объёму воды. Для равных объёмов жидкостей, протекающих через капилляр, можно записать:

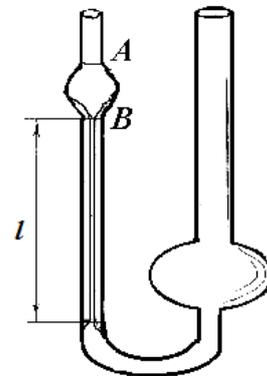


Рис. 1

$$V = \pi r^4 \Delta P_0 \tau_0 / 8 \eta_0 l, \quad \text{- для воды;} \quad (4)$$

$$V = \pi r^4 \Delta P \tau / 8 \eta l, \quad \text{- для исследуемой жидкости} \quad (4')$$

Так как объемы жидкостей одинаковы, следовательно, можно приравнять правые части уравнений (4) и (4'):

$$\pi r^4 \Delta P_0 \tau_0 / 8 \eta_0 l = \pi r^4 \Delta P \tau / 8 \eta l$$

или

$$\Delta P_0 \tau_0 / \eta_0 = \Delta P \tau / \eta. \quad (5)$$

Гидростатическое давление исследуемой жидкости в капилляре равно:

$$\Delta P = \rho g h, \quad (6)$$

где ρ – плотность жидкости, h – разность уровней жидкости в двух коленах вискозиметра.

Соответственно, для воды с учетом уравнения (6):

$$\Delta P_0 = \rho_0 g h, \quad (7)$$

где ρ_0 – плотность воды.

Подставляя (6) и (7) в уравнение (5), получаем:

$$\rho_0 g h \tau_0 / \eta_0 = \rho g h \tau / \eta \quad (8)$$

С учетом (3) уравнение (8) принимает вид:

$$g h \tau_0 / \nu_0 = g h \tau / \nu,$$

откуда

$$\nu = \nu_0 \tau / \tau_0, \quad (9)$$

где ν - кинематическая вязкость исследуемой жидкости, ν_0 - кинематическая вязкость воды, τ - время истечения исследуемой жидкости, τ_0 - время истечения воды.

Обозначим постоянную прибора

$$A = \nu_0 / \tau_0. \quad (10)$$

Тогда формула (9) примет вид

$$\nu = A \tau \quad (11)$$

Вискозиметр Гесса (рис. 2) используется для определения вязкости неньютоновских жидкостей. Принцип его действия основан на том, что скорости продвижения жидкости в капиллярах с одинаковыми сечениями при равных температурах и давлениях зависят только от вязкостей этих жидкостей.

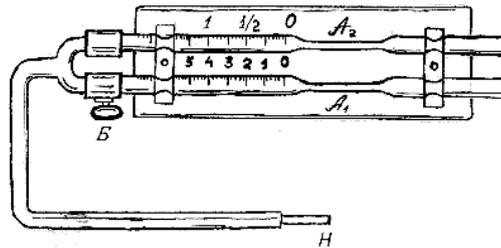


Рис. 2

Из формулы Пуазейля следует, что объемы жидкостей, протекающих за равные промежутки времени по одинаковым капиллярам, обратно пропорциональны вязкостям этих жидкостей. Следовательно,

$$V_0 / V = \pi r^2 l_0 / \pi r^2 l = l_0 / l = \eta / \eta_0.$$

Вискозиметр Гесса состоит из двух одинаковых градуированных капилляров A_1 и A_2 (Рис. 2). В капилляр A_1 набирают определенный объем дистиллированной воды и перекрывают кран B . Это позволяет набрать в капилляр A_2 исследуемую жидкость, не изменяя уровень воды. Если теперь открыть кран B и создать разрежение в вискозиметре, то перемещение жидкостей за одно и то же время будет обратно пропорционально их вязкости:

$$\eta / \eta_0 = l_0 / l, \text{ или } \eta = \eta_0 l_0 / l, \quad (12)$$

где η - вязкость исследуемой жидкости, η_0 - вязкость воды; l - путь, пройденный исследуемой жидкостью; l_0 - путь, пройденный водой. Если вязкость воды принять равной единице, а путь, пройденный жидкостью, составляет одно деление вискозиметра, то на основании (12) вязкость жидкости будет численно равна пути, пройденному при этом водой.

Вискозиметр Стокса (рис. 3) представляет собой стеклянный цилиндр большого объема с метками A и B , заполненный вязкой жидкостью (масло или глицерин). Применяется для определения динамической вязкости жидкости *методом падающего шарика* в сельском хозяйстве (в почвоведении, агрофизике). Суть этого метода состоит в том, что при движении тела в вязкой жидкости возникают силы сопротивления. Происхождение этого сопротивления двояко. При небольших скоростях, когда за телом нет вихрей, сила сопротивления обуславливается вязкостью жидкости. Слои жидкости, прилегающие к телу, увлекаются ими. Между этими слоями и следующими возникают силы трения.

Второй механизм сил сопротивления связан с образованием вихрей. Часть работы, совершаемой при движении тела в жидкости, идет на образование вихрей, энергия которых переходит во внутреннюю энергию.

Макроскопическое движение, возникающее в жидкости или газе, постепенно уменьшается из-за сил внутреннего трения после прекращения действия причин (сил), вызывающих это движение. При небольших скоростях в соответствии с уравнением Ньютона сила сопротивления движущемуся телу пропорциональна вязкости жидкости, скорости движения тела и зависит от размеров тела.

Согласно закону Стокса, при движении сферического тела (шарика) в вязкой жидкости с небольшой скоростью, когда нет вихрей, сила сопротивления равна: $F_c = 6\pi r\eta v$, (13)

где r – радиус шарика; v – скорость его падения. Этот закон получен в предположении, что стенки сосуда не влияют на движение шарика.

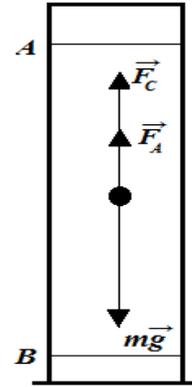


Рис. 3

При падении шарика в вязкой среде на него действуют три силы: сила сопротивления F_c , сила тяжести $mg=P$ и выталкивающая (архимедова) сила F_A , равная весу вытесненной шариком жидкости (рис. 3).

$$P=4/3\pi r^3 \rho g, \quad (14)$$

$$F_A=4/3\pi r^3 \rho_0 g, \quad (15)$$

где ρ – плотность вещества шарика, ρ_0 – плотность исследуемой жидкости.

Сила тяжести и выталкивающая сила постоянны по модулю, сила сопротивления – пропорциональна скорости. При движении шарика в жидкости наступает момент, когда все три силы уравновешиваются:

$$P=F_A+F_c$$

или $4/3\pi r^3 \rho g=4/3\pi r^3 \rho_0 g+6\pi r\eta v$ (16)

Тогда, согласно первому закону Ньютона, шарик начинает падать с постоянной скоростью (равномерно, без ускорения).

Определив эту скорость и задав параметры шарика и жидкости, можно определить силу сопротивления падению шарика в вязкой среде. По этой же формуле можно определить и вязкость жидкости, если известна сила сопротивления, которую можно определить из условия равенства нулю равнодействующей всех вышеназванных сил.

Из формулы (16) находят:

$$\eta=2r^2 g(\rho-\rho_0)/9v \quad (17)$$

или

$$\eta=d^2 g(\rho-\rho_0)\tau/18l, \quad (18)$$

где d – диаметр шарика (м), g – ускорение свободного падения (m/c^2), τ – время падения шарика между метками A и B , l – расстояние между метками (м).

ХОД РАБОТЫ

Определение кинематической вязкости жидкости методом Освальда

1. Отмерить с помощью мерного цилиндра исследуемую жидкость объемом 10 мл и залить ее в широкое колено вискозиметра (см. рис. 1).
2. С помощью груши поднять уровень жидкости во втором колене выше метки A .
3. Измерить время прохождения жидкости τ между метками A и B при ее медленном истечении. Опыт провести не менее трех раз.
4. Вылить исследуемую жидкость и повторить опыт с контрольной жидкостью (вода).
5. Рассчитать постоянную вискозиметра по формуле:

$$A = \frac{v_0}{\tau_0},$$

где v_0 – кинематическая вязкость контрольной жидкости (справочные данные см. в приложении № 2); τ_0 – время протекания контрольной жидкости.

6. Рассчитать вязкость исследуемой жидкости по формуле:

$$v = A \cdot \tau,$$

где τ – время протекания исследуемой жидкости.

7. Данные занести в таблицу. Рассчитать абсолютную и относительную погрешность. Сравнить полученное значение вязкости со справочным, сделать вывод.

Таблица

№	τ_0, c	τ, c	$A, m^2/c^2$	$v, m^2/c$	$\Delta v, m^2/c$	$\varepsilon, \%$
1.						
2.						
3.						
Ср.зн.						

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимают под вязкостью? Чем она обусловлена?
2. Как взаимосвязаны кинематическая и динамическая вязкость?
3. От чего зависит вязкость? Как зависит вязкость жидкости и газа от температуры?
4. Напишите уравнение Ньютона для течения вязкой жидкости. Что такое ньютоновская и неньютоновская жидкость?
5. Какие методы определения вязкости вы знаете и на чем они основаны?
6. Какие условия должны выполняться при каждом методе?
7. Запишите и объясните формулу Пуазейля.

Лабораторная работа № 2

Тема: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: определение поверхностного натяжения исследуемой жидкости методом отрыва капле.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: исследуемая жидкость, эталонная жидкость, химическая бюретка.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Для жидкостей характерны свойства, связанные с ее молекулярным строением. Благодаря тому, что молекулы жидкости находятся близко друг от друга, жидкость оказывается трудно сжимаемой: вступающие в действие на очень малых расстояниях силы отталкивания между молекулами препятствуют сжатию жидкости. Жидкости свойственны: текучесть, внутреннее трение (вязкость) и, так называемые, *поверхностные явления* – поверхностное натяжение, смачиваемость и капиллярность.

Рассмотрим природу поверхностного натяжения жидкостей.

Молекула, находящаяся внутри жидкости, взаимодействует с окружающими ее молекулами. Так как силы взаимодействия симметричны, то равнодействующая равна нулю (рис. 1). Для молекулы, находящейся вблизи поверхности жидкости, симметрия нарушается, и возникает сила, не скомпенсированная действием сил других молекул и направленная внутрь жидкости. Поэтому для перемещения молекул из глубины жидкости в поверхностный слой необходимо совершить работу против этой силы.

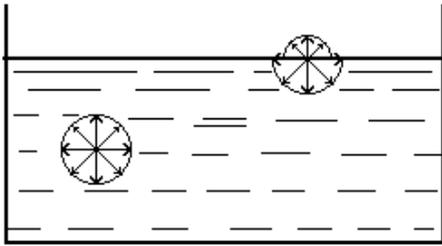


Рис. 1

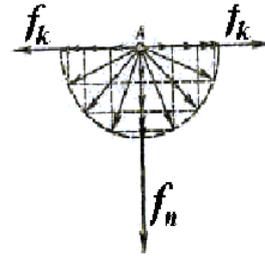


Рис. 2

При отсутствии внешних сил молекулы жидкости стремятся занять положение, соответствующее минимуму потенциальной энергии, поэтому жидкость в свободном состоянии стремится иметь минимальную площадь поверхности и принимает форму шара. Поверхностный слой уплотняется, что похоже на упругую плёнку, в которой действуют упругие силы. На молекулы, находящиеся на поверхности, действуют силы со стороны каждой из молекул жидкости (силами, действующими на нее со стороны молекул пара, можно пренебречь). Каждую из этих сил можно разложить на две составляющие, направленные: одна касательно к поверхности жидкости, другая – перпендикулярно ей (рис. 2). Складываясь между собой, составляющие, перпендикулярные поверхности, дают силу, направленную вглубь массы жидкости f_n , а касательные составляющие образуют равные и противоположные силы f_k , направленные вдоль поверхности.

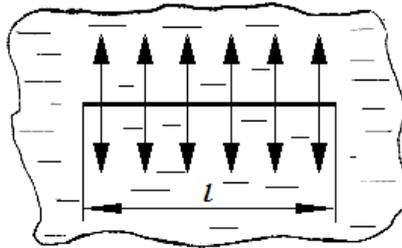


Рис. 3

Если условно выбрать на поверхности жидкости отрезок длиной l (рис. 3), то силы поверхностного натяжения жидкости F можно изобразить стрелками, перпендикулярными отрезку. Поверхностное натяжение равно:

$$F = \sigma l, \quad (1)$$

где σ – коэффициент пропорциональности, называемый *коэффициентом поверхностного натяжения*.

Из формулы (1) следует, что:

$$\sigma = F/l, \quad (2)$$

то есть коэффициент поверхностного натяжения жидкости численно равен силе поверхностного натяжения, действующей на единицу длины контура, ограничивающего поверхность жидкости.

Измеряется σ в Н/м. Коэффициент поверхностного натяжения жидкости имеет порядок 10^{-2} - 10^{-1} Н/м; для воды, например, он равен 0,073 Н/м. При повышении температуры, в связи с увеличением среднего расстояния между молекулами жидкости, силы притяжения между ними уменьшаются, соответственно снижается и коэффициент поверхностного натяжения.

Так как молекулы поверхностного слоя обладают большей потенциальной энергией по сравнению с молекулами, находящимися внутри жидкости, то для увеличения площади поверхности жидкости необходимо совершить работу против сил поверхностного натяжения. Тогда:

$$\sigma = A/S. \quad (3)$$

Существуют вещества, которые уменьшают поверхностное натяжение жидкостей; такие вещества называют *поверхностно-активными веществами* (ПАВ).

Для определения поверхностного натяжения используют *метод отрыва капль*. При медленном истечении жидкости из отверстия или из вертикальной трубки образуется капля. Отрыв происходит по шейке капли или перетяжке, радиус которой меньше радиуса отверстия. Предполагается, что в момент отрыва капли сила поверхностного натяжения равна весу капли:

$$2\pi R\sigma = mg$$

$$\text{или } 2\pi R\sigma = \rho Vg,$$

где R – радиус шейки капли, ρ – плотность жидкости, V – объем капли. Следовательно,

$$\sigma = \rho g V / 2\pi R \quad (4)$$

Измерить радиус шейки капли практически нельзя (это можно сделать только при фотографировании капли в момент отрыва), поэтому, используя метод отрыва капли, прибегают к сравнительному способу. Если известно поверхностное натяжение σ_0 стандартной жидкости, например воды, то учитывая формулу (4), можно записать:

$$\sigma_0 = \rho_0 V_0 g / 2\pi R \quad (5)$$

Взяв одинаковые объемы V_1 воды и исследуемой жидкости и подсчитав количество капель в этих объемах, можно вычислить объем одной капли: $V_0 = V_1/n_0$ (воды), $V = V_1/n$ (исследуемой жидкости). Подставив эти выражения, соответственно, в (4) и (5) и взяв их отношение, получим:

$$\sigma/\sigma_0 = \rho n_0 / \rho_0 n \quad (6)$$

или

$$\sigma = \sigma_0 \rho n_0 / \rho_0 n. \quad (7)$$

Для определения поверхностного натяжения пользуются также методом *максимального давления в пузырьке воздуха*. Под действием сил поверхностного натяжения поверхностный слой жидкости искривляется, что приводит к появлению дополнительного давления на жидкость. Это избыточное давление направлено в сторону вогнутости искривленной поверхности. В случае сферической поверхности избыточное давление равно:

$$\Delta p = 2\sigma/r, \quad (8)$$

где r – радиус кривизны поверхности.

Если в плотный закрытый сосуд с жидкостью через пробку ввести капилляр, нижний конец которого касается жидкости, а верхний конец открыт, то при понижении давления в сосуде в жидкость через капилляр под действием атмосферного давления p_{am} будет выдавливаться пузырек воздуха. В момент отрыва пузырька атмосферное давление равно сумме давления в сосуде и избыточного давления:

$$p_{am} = p + \Delta p,$$

или

$$\Delta p = p_{am} - p \quad (9)$$

Используя выражение (8), получаем:

$$\sigma = r\Delta p/2 \quad (10)$$

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка для определения поверхностного натяжения методом отрыва капель представляет собой укрепленную на вертикальном штативе капельницу (рис. 4).

Химическая бюретка (капельница) – это стеклянная трубка с узким нижним концом. Перед узкой частью трубки предусмотрен кран, которым регулируется истечение жидкости из капельницы. На трубке нанесены деления, позволяющие измерить объем протекающей жидкости.

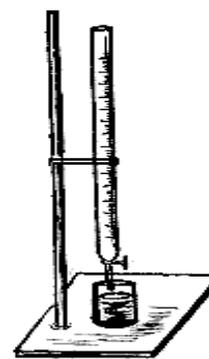


Рис. 4

ХОД РАБОТЫ

Определение поверхностного натяжения жидкости методом отрыва капель

- залить в капельницу исследуемую жидкость (спирт);
- открыв кран, настроить течение капель и подсчитать их число n в объеме 1 мл. Опыт провести три раза и определить n_{cp} ,

в) промыть капельницу, залить в нее дистиллированную воду и подсчитать число n_0 капель в 1 мл воды. Опыт повторите три раза и определите n_{0cp} ;

г) вычислить поверхностное натяжение σ исследуемой жидкости по формуле:

$$\sigma = \frac{\sigma_0 \rho n_{0cp}}{\rho_0 n_{cp}}$$

где $\sigma_0 = 72,6 \cdot 10^{-3}$ Н/м – поверхностное натяжение воды, $\rho_0 = 10^3$ кг/м³ – плотность воды; $\rho = 0,79 \cdot 10^3$ кг/м³ – плотность спирта данной концентрации при температуре, равной 20 °С;

д) результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 1;

е) полученное значение σ для исследуемой жидкости сравнить со справочным значением, сделать вывод.

Таблица 1.

Вещество	n_1	n_2	n_3	n_{cp}	$\sigma, \text{Н/м}$
Вода					$72,6 \cdot 10^{-3}$
Спирт					

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается явление поверхностного натяжения?
2. Что такое сила поверхностного натяжения и как она направлена?
3. Дайте определение коэффициента поверхностного натяжения и укажите его единицы в СИ.
4. Что такое поверхностно-активные вещества?
5. В чем заключается измерение поверхностного натяжения жидкости методом отрыва капель?
6. Как зависит поверхностное натяжение жидкости от температуры и концентрации раствора?
7. Что называется поверхностными явлениями? Расскажите о смачиваемости и капиллярности.

Лабораторная работа № 3

Тема: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТЕЙ ПИКНОМЕТРОМ И С ПОМОЩЬЮ АРЕОМЕТРОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение двух методов измерения плотности жидкостей – пикнометром и ареометром.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: пикнометр, весы аналитические или технические, набор разновесов, химическая пипетка, стеклянная воронка, термометр для измерения температуры воздуха, фильтровальная бумага, исследуемая жидкость в колбочке, дистиллированная вода в колбочке, химический стаканчик, ареометр, цилиндрические сосуды.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Плотностью вещества называется величина, численно равная его массе, содержащейся в единице объема:

$$\rho = m/V. \quad (1)$$

Размерности плотности вещества: 1 г/см³ и 1 кг/м³. Плотность разных веществ различна. У одного и того же вещества (жидкого или твердого) плотность меняется в зависимости от температуры по закону:

$$\rho_t = \rho_0 / (1 + \beta_t), \quad (2)$$

где ρ_0 – плотность вещества при нулевой температуре; ρ_t – плотность вещества при t °С; β_t – коэффициент объемного расширения вещества, поэтому необходимо указывать температуру, при которой измерена плотность вещества.

Плотность вещества может быть измерена несколькими методами: ареометром, пикнометром, гидростатическим взвешиванием с помощью весов Вестфала и др.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Пикнометр – стеклянный сосуд емкостью от 5 до 100 мл. Наличие метки на горлышке у пикнометра позволяет строго фиксировать объем наливаемой жидкости (Рис. 1).



Рис. 1
Внешний вид пикнометра

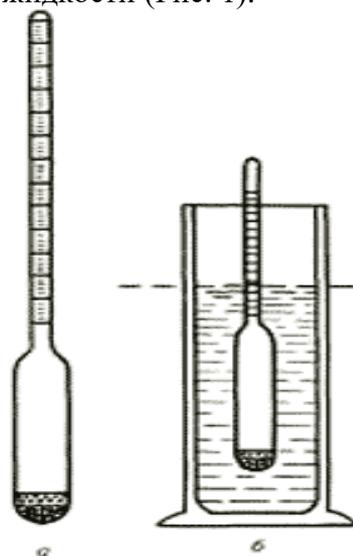


Рис. 2

- а) внешний вид ареометра;
б) ареометр, погруженный в цилиндр с жидкостью.

Ареометр (денситометр) – запаянная стеклянная трубка со свинцовой дробью или ртутью в нижней части. На верхнюю часть трубки нанесена шкала, проградуированная в единицах плотности. Принцип действия ареометра основан на законе Архимеда и условии плавания тел. Глубина погружения ареометра зависит от плотности $\rho_{ж}$ жидкости. Чем меньше плотность жидкости, тем на большую глубину погружается ареометр, и наоборот.

Наиболее распространены ареометры двух типов: для измерения плотности жидкости, большей плотности воды (при 4 °С), и для измерения плотностей меньших плотности воды. У первых ареометров единица находится вверху шкалы, у вторых – внизу.

К ареометрам, проградуированным в процентах концентрации, относятся спиртометры для определения процентного содержания спирта, лактометры для определения процентного содержания жира в молоке и др.

Для измерения плотности жидкости **пикнометром** необходимо произвести три взвешивания, по которым определяются:

- масса пустого пикнометра m_0 ;
- масса m_1 пикнометра с исследуемой жидкостью, налитой до метки на его горлышке;
- масса m_2 пикнометра с дистиллированной водой, налитой до метки на его горлышке.

Плотность воды при температуре t равна:

$$\rho_в = (m_2 - m_0) / V, \quad (3)$$

а плотность исследуемой жидкости:

$$\rho_x = (m_1 - m_0) / V, \quad (4)$$

Таким образом, плотность исследуемой жидкости при температуре t вычисляется по формуле:

$$\rho_x = \rho_в (m_1 - m_0) / (m_2 - m_0). \quad (5)$$

ХОД РАБОТЫ

1. Измерение плотности жидкости пикнометром

1) взвешивая на весах, определить:

- массу m_0 пустого пикнометра с пробкой;
- массу m_1 пикнометра с пробкой, заполненного до метки исследуемой жидкостью;

- 2) вылить исследуемую жидкость из пикнометра в колбочку и промыть пикнометр дистиллированной водой; воду вылить в стаканчик;
- 3) взвешиванием на весах определить массу m_2 пикнометра с пробкой, в который налита до метки дистиллированная вода;
- 4) измерить температуру воздуха в лаборатории и по справочнику (или таблице) определить плотность воды при этой температуре;
- 5) по формуле (5) рассчитать плотность исследуемой жидкости;
- 6) результаты измерений и вычислений занести в табл. 1.

Таблица 1

$m_0, \text{г}$	$m_1, \text{г}$	$m_2, \text{г}$	$m_1 - m_0, \text{г}$	$m_2 - m_0, \text{г}$	$\rho_в, \text{г/см}^3$	$\rho_x, \text{г/см}^3$	$t, \text{°C}$

Примечание. При наполнении пикнометра жидкостью необходимо соблюдать следующие правила:

- а) если пикнометр не высушен, нужно промыть его перед наполнением той же жидкостью;
- б) вливать жидкость через воронку, а последние несколько капель добавлять или отбирать пипеткой;
- в) нижний край мениска смачивающей жидкости должен касаться метки;
- г) в наполненном жидкостью пикнометре не должно быть пузырьков воздуха;
- д) наружная поверхность пикнометра должна быть сухой (пользоваться при этом фильтровальной бумагой).

2. Измерение плотности жидкости ареометром

- 1) определить цену деления шкалы ареометра;
- 2) определить ареометрами плотности жидкостей (воды, спирта, керосина, поваренной соли) при комнатной температуре, записав в табл. 2 деление шкалы ареометра, совпадающее с уровнем жидкости;
- 3) рассчитать плотность керосина при нулевой температуре по формуле:

$$\rho_t = \rho_0 / (1 + \beta_t), \text{ где } \beta_t = 0,000955 \text{ град}^{-1};$$
- 4) результаты записать в табл. 2.

Таблица 2

$t, \text{°C}$	Вода, г/см^3	Спирт, г/см^3	Керосин, г/см^3	Поваренная соль, г/см^3

- 5) написать вывод.

Примечание. Ареометр не должен плавать в жидкости вблизи стенки сосуда, так как за счет явления смачивания может быть внесена ошибка в измерение.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется плотностью вещества? Назовите размерности.
2. Как зависит плотность вещества от температуры? Запишите формулу.
3. Опишите методы определения плотности жидкости.
4. Как определить плотность жидкости пикнометром? Напишите расчетную формулу.
5. Опишите устройства и принцип работы ареометров, их виды.
6. Охарактеризуйте достоинство и недостатки методов определения плотности жидкости пикнометром и ареометром.

Лабораторная работа № 4

Тема: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: определение относительной и абсолютной влажности воздуха и точки росы, приобретение навыков работы с психрометром.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: аспирационный психрометр, психрометрическая таблица, таблица зависимости упругости насыщенных водяных паров от температуры.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

На Земле непрерывно идет процесс образования водяных паров. Вода испаряется из водоемов, растительного покрова, водяные пары выдыхаются всеми живыми существами. Поскольку плотность водяных паров меньше *плотности воздуха* (она составляет 0,622 плотности воздуха), то водяной *пар поднимается* над поверхностью Земли, распространяясь в атмосфере. Водяные пары обладают упругостью и производят давление, которое измеряется в миллиметрах ртутного столба или в миллибарах. Таким образом, атмосферное давление состоит из давления сухого воздуха и давления водяных паров, находящихся в нем.

Количество водяных паров в атмосфере меняется в зависимости от высоты места, географического положения, времени года и дня, температуры воздуха, скорости ветра и т.д.

Процессы конденсации паров и испарения воды, сопровождающиеся выделением или поглощением громадных количеств тепла, оказывают заметное влияние на температурный режим атмосферы.

Знание влажности воздуха имеет большое значение для объяснения различных явлений в атмосфере, с которыми связаны некоторые виды производства, в особенности сельскохозяйственного, а также для вопросов производственной гигиены и санитарии и т.д.

К основным нормируемым показателям микроклимата воздуха рабочей зоны относятся температура, относительная влажность, скорость движения воздуха.

Влажность воздуха характеризуют следующие величины: абсолютная влажность, максимальная влажность, относительная влажность, дефицит влажности, точка росы.

1. Абсолютная влажность определяется упругостью – давлением водяного пара, который находится в воздухе при данной температуре, и измеряется в миллиметрах ртутного столба или в миллибарах. Кроме того, ее можно измерять и количеством водяного пара в граммах, который находится в 1 м³ воздуха при данной температуре. Тогда абсолютную влажность обозначают через m (г/м³).

При температуре, равной 16,5 °С, численные значения m и p будут совпадать, т.е. $m = p$, однако измеряться они будут в различных единицах: p – в мм рт. ст., а m – в г/м³. При других температурах отмечается незначительное расхождение в числовых значениях величин m и p . Чаще всего абсолютную влажность измеряют в миллиметрах ртутного столба.

Опытным путем была выведена психрометрическая формула, по которой можно рассчитать абсолютную влажность воздуха:

$$p = p_2 - A(t_1 - t_2)H, \quad (1)$$

где p – абсолютная влажность (упругость водяного пара воздуха в мм рт. ст.); p_2 – упругость пара, насыщающего пространство при температуре t_2 смоченного термометра в мм. рт. ст., определяется по таблице зависимости упругости насыщенных водяных паров от температуры (см. приложение № 5); A – постоянная психрометра (для лабораторных условий $A = 0,0008$); t_1 – температура сухого термометра; t_2 – температура смоченного термометра; H – атмосферное давление в мм. рт. ст. (измеряется по барометру).

2. Максимальная влажность измеряется наибольшей упругостью водяных паров, которая возможна при данной температуре. Обозначается p_1 .

При максимальной влажности водяные пары полностью насыщают пространство, поэтому ее часто называют *упругостью насыщения*.

Максимальная влажность, т. е. упругость при данной температуре насыщающих водяных паров, измеряется в мм. рт. ст. или в миллибарах. Максимальную влажность можно определить еще и так: это количество пара в граммах, насыщающего 1 м³ воздуха при данной температуре.

Упругость насыщенного пара p_1 определяется также по таблице зависимости упругости насыщенных водяных паров от температуры (см. приложение № 5) по температуре воздуха t_1 (показания сухого термометра).

3. Относительная влажность выражается отношением абсолютной влажности p к максимальной влажности p_1 при тех же температуре и давлении. Обозначают относительную влажность через f . Тогда

$$f = \frac{P}{P_1}$$

Обычно относительная влажность выражается в процентах. Значит, как было сказано выше, относительную влажность можно рассчитать по формуле:

$$f = \frac{P}{P_1} \cdot 100\% \quad (2)$$

Таким образом, относительная влажность характеризует степень насыщения воздуха водяными парами. Поэтому скорость испарения воды зависит от относительной влажности: чем меньше относительная влажность воздуха, тем быстрее происходит испарение.

Пользуясь формулами (1) и (2) можно рассчитать относительную влажность воздуха для любой возможной разности температур и составить психрометрические таблицы, с помощью которых по показаниям двух термометров можно определить относительную влажность воздуха. Такие таблицы обычно прилагаются к психрометрам (см. приложение №4).

4. Дефицит влажности измеряется разностью между максимальной и абсолютной влажностями воздуха. Эта величина показывает, насколько далек воздух от состояния насыщения.

Дефицит влажности измеряется также в мм. рт. ст. (в миллибарах) и вычисляется по формуле:

$$d = p_1 - p \quad (3)$$

5. Точка росы. Если воздух охлаждать, то находящийся в нем водяной пар при некоторой температуре станет насыщенным. Начнется его конденсация. Эта температура конденсации пара называется *точкой росы*.

Ясно, что упругость водяного пара, который находится в воздухе при данной температуре, равна упругости насыщенного пара при температуре точки росы.

Для определения точки росы служит прибор, называемый гигрометром Ламбрехта (рис. 1).

Гигрометр Ламбрехта состоит из металлического сосуда с зеркально отполированным диском. Сосуд до половины наполняют эфиром и вставляют в него термометр. При помощи груши продувают через эфир воздух, ускоряя тем самым испарение эфира, что ведет к охлаждению эфира и самого сосуда. При некоторой температуре t блестящая поверхность сосуда потускнеет вследствие конденсации на ее поверхности водяных паров, находящихся в воздухе, т.е. на ней появится роса. Значит, пары воздуха возле блестящей поверхности гигрометра становятся насыщенными. Данная температура и будет точкой росы.

Пользуясь таблицами зависимости упругости насыщенных водяных паров от температуры, можно определить упругость насыщенного пара при точке росы t . Это будет абсолютная влажность воздуха p .

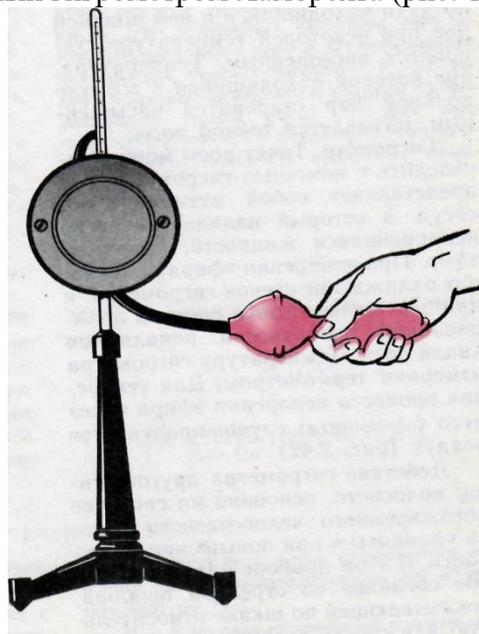


Рис. 1

Наиболее часто влажность воздуха определяют не гигрометром, а психрометром, поскольку такой метод дает более точные результаты.

На рис. 2 представлены два основных вида психрометров: рис. 2а – стационарный, рис. 2б – аспирационный психрометр.

Психрометр аспирационный предназначен для измерения влажности и температуры воздуха в стационарных и походных условиях. Прибор состоит из двух одинаковых термометров, закрепленных в специальной оправе. Прибор снабжен заводным механизмом и вентилятором, составляющими аспирационную головку, которые закрыты колпаком. Пружина заводного механизма заводится либо ключом, либо работает от сети. Резервуары термометров помещены в двойную трубчатую защиту с воздушным зазором между трубками. Такая защита предохраняет резервуары термометров от нагревания солнцем, для этого наружная поверхность трубок тщательно полируется и никелируется.

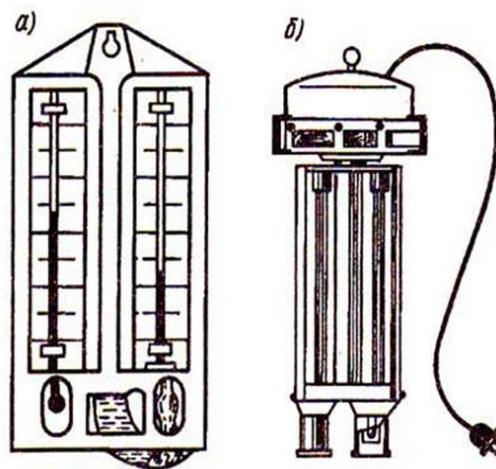


Рис. 2

Сами трубки соединены с пластмассовым тройником воздухопроводной трубки, на верхнем конце которой укреплена аспирационная головка. Трубки изолированы изоляционными кольцами. От механических повреждений термометры с боков защищены металлическими планками. Резервуар правого термометра обернут одним слоем батиста, который перед работой смачивается дистиллированной, дождевой или талой водой с помощью резиновой груши с пипеткой. К прибору прилагается щиток для защиты вентилятора от сильного ветра.

Под действием вентилятора воздух, обтекая резервуары термометров, всасывается по воздухопроводной трубке к вентилятору и выбрасывается наружу через прорези. Сухой термометр всегда показывает более высокую температуру воздуха в потоке, влажный – более низкую (если воздух не насыщен водяными парами), так как он охлаждается вследствие испарения воды с поверхности батиста, облегающего его резервуар.

Аспирационный психрометр имеет следующие технические данные: *цена деления термометров* – 0,2 °С; *диапазон измерения* – от 10 до 100 % при температуре окружающей среды от -10 до +40 °С; *скорость воздушного потока* у резервуаров термометров, создаваемая вентилятором аспирационной головки, не менее 2 м/с на четвертой минуте и не менее 1,7 м/с на шестой минуте работы вентилятора; *время действия завода механизма* 8-10 мин.

ХОД РАБОТЫ

1. Ознакомиться с устройством и техническими данными аспирационного психрометра.
2. Повесить психрометр таким образом, чтобы резервуары термометров были на высоте 2 м над уровнем пола.
3. Смочить батист на резервуаре термометра, для этого резиновый баллон с пипеткой наполнить дистиллированной водой и ввести во внутреннюю трубку защиты и смочить батист на резервуаре правого термометра.
4. Завести вентилятор почти до отказа (это нужно делать осторожно, чтобы не сорвать пружину).
5. На четвертой минуте после пуска вентилятора провести отсчет по термометрам t_1 и t_2 .
6. Определить упругость насыщенного пара p_1 и p_2 при температурах t_1 и t_2 , соответственно, по таблице зависимости упругости насыщенных паров от температуры (см. приложение № 5).
7. Определить атмосферное давление H с помощью барометра.
8. Определить абсолютную влажность p по формуле (1), относительную влажность f_{ϕ} по формуле (2) и дефицит влажности d по формуле (3).
9. Определить относительную влажность f_t с помощью психрометрической таблицы (см. приложение № 4).
10. Результаты наблюдений записать в таблицу.

Таблица

№ п/п	t_1 , °C	t_2 , °C	H , мм.рт.ст.	p_1 , мм. рт. ст.	p_2 , мм. рт. ст.	p , мм. рт. ст.	d , мм. рт. ст.	f_{ϕ} , %	f_{τ} , %
1									
2									
3									
Ср. зн.									

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные величины, характеризующие влажность воздуха. Дайте их определения и укажите формулы, по которым они определяются.
2. Как и с помощью каких приборов определяются влажность воздуха и точка росы?
3. Чему будет равна влажность воздуха, если оба термометра в аспирационном психрометре покажут одинаковую температуру?
4. Что такое испарение и конденсация жидкости?
5. Чем кипение отличается от испарения жидкости?
6. Как зависит от параметров внешней среды и концентрации растворов температура кипения, замерзания и плавления различных веществ?
7. Как зависит упругость насыщенных паров от концентрации растворов?

Лабораторная работа № 5

Тема: ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ АНЕМОМЕТРОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: определение скорости движения воздуха чашечным и пластинчатым анемометрами, приобретение навыков работы с данными приборами.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: чашечный и пластинчатый анемометры, секундомер.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

1. Основные положения. Создание комфортных условий предусматривает обеспечение многих параметров среды обитания и характеристик трудового процесса на оптимальном уровне: не превышение допустимых уровней негативных факторов и их снижение до минимально возможных уровней, рациональный режим труда и отдыха, удобство рабочего места, хороший психологический климат в трудовом коллективе, повышение качества и производительности труда.

Если работа выполняется на открытом воздухе, то метеорологические условия определяются в основном климатическим поясом и сезоном года. Однако и в этом случае в рабочей зоне создается определенный микроклимат.

Человек постоянно находится в состоянии обмена теплотой с окружающей средой. Наилучшее тепловое его самочувствие будет тогда, когда тепловыделения организма человека полностью отдаются окружающей среде. Превышение тепловыделения организма над теплоотдачей в окружающую среду приводит к нагреву организма и к повышению его температуры (человеку становится жарко). Наоборот, превышение теплоотдачи над тепловыделением приводит к переохлаждению организма и к снижению его температуры (человеку становится холодно). Тепловыделение организма определяется, прежде всего, тяжестью и напряженностью выполняемой работы, величиной мышечной нагрузки. Различают три принципиально разных элементарных способа распространения тепла: теплопроводность, конвекцию и тепловое излучение.

Теплопроводность представляет собой перенос тепла вследствие беспорядочного движения микрочастиц, непосредственно соприкасающихся друг с другом. *Конвекцией* называется перенос

тепла вследствие движения и перемешивания макроскопических объемов газа или жидкости. *Тепловое излучение* – это процесс распространения электромагнитных колебаний с различной длиной волны, обусловленный тепловым движением атомов и молекул излучающего тела. В реальных условиях, тепло передается не каким-либо одним из указанных способов, а комбинированным.

Гигиеническое нормирование параметров производственного микроклимата установлено системой стандартов безопасности труда ГОСТ 12.1. 005 – 88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», а также СанПиН 2.2.4.584 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». В соответствии с этими документами нормируются оптимальные и допустимые параметры микроклимата: температура воздуха (°С), относительная влажность воздуха (%) и скорость движения воздуха (м/с), обеспечивающие оптимальные и допустимые микроклиматические условия в производственных помещениях.

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового состояния организма человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах. Оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно-эмоциональным напряжением (на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники).

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового самочувствия и понижению работоспособности.

Оптимальные показатели микроклимата распространяются на всю рабочую зону, допустимые показатели устанавливаются дифференцированно для постоянных и непостоянных рабочих мест.

При комфортном микроклимате физиологические процессы терморегуляции не напряжены, теплоощущение хорошее, функциональное состояние нервной системы оптимальное, физическая и умственная работоспособность высокая, организм устойчив к воздействию негативных факторов среды.

Условия, при которых нормальное тепловое состояние человека нарушается, называется *дискомфортным*. Дискомфортный микроклимат вызывает напряжение процессов терморегуляции, у работника ухудшается теплоощущение, условно-рефлекторная деятельность и качество труда, снижается устойчивость организма к воздействию неблагоприятных факторов.

Дискомфортный микроклимат может быть охлаждающим (гипотермия) и перегревающим (гипертермия). Длительное воздействие низкой температуры в сочетании с повышенной скоростью движения воздуха, может привести к переохлаждению организма ниже допустимого предела – гипотермии. При продолжительном действии холода дыхание становится неритмичным, частота и объем вдоха увеличиваются, нарушается обмен веществ, появляется мышечная дрожь, при которой никакой работы не совершается, так как вся энергия превращается в теплоту. При более продолжительном действии холода могут возникнуть холодовые травмы и даже наступить смерть.

Длительное воздействие высокой температуры в сочетании с повышенной влажностью воздуха может привести к перегреванию организма выше допустимого предела – гипертермии. Следствием гипертермии может являться тепловой удар, при этом наблюдается головная боль, общая слабость, головокружение, тошнота, рвота, учащение пульса и дыхания, расширяются зрачки, появляются бледность, синюшность, могут появиться судороги и потеря сознания.

Одним из важных показателей теплового состояния организма является средняя температура тела (внутренних органов) порядка 36,5 °С. Она зависит от степени нарушения теплового баланса и уровня энергозатрат при выполнении физической работы. При высокой температуре воздуха в период выполнения работы средней тяжести и тяжелой, температура тела может повышаться от

нескольких десятых градуса до 1-2 °С. Наивысшая температура внутренних органов, которую выдерживает человек, составляет +43 °С, минимальная +25 °С.

Температурный режим кожи играет основную роль в теплоотдаче. Ее температура меняется в довольно значительных пределах, и при нормальных условиях средняя температура кожи под одеждой составляет 30-34 °С. При неблагоприятных метеорологических условиях на отдельных участках тела она может понижаться до 20 °С, а иногда и больше.

Переносимость человеком температуры, как и его теплоощущение, в значительной мере зависит от влажности и скорости окружающего воздуха. Особенно неблагоприятное воздействие на тепловое самочувствие человека оказывает высокая влажность при $t_{oc} > 30$ °С, так как при этом почти вся выделяемая теплота отдается в окружающую среду при испарении пота. При повышении влажности пот не испаряется, а стекает каплями с поверхности кожного покрова. Возникает так называемое «проливное» течение пота, изнуряющее организм и не обеспечивающее необходимой теплоотдачи.

Недостаточная влажность воздуха также может оказаться неблагоприятной для человека вследствие интенсивного испарения влаги со слизистых оболочек, их пересыхания и растрескивания, а затем и загрязнения болезнетворными микроорганизмами. Поэтому при длительном пребывании людей в закрытых помещениях рекомендуется ограничиваться относительной влажностью в пределах 30-70 %.

Вопреки установившемуся мнению величина потоотделения мало зависит от недостатка воды в организме или от ее чрезмерного потребления. У человека, работающего в течение 3 часов без приема жидкости, образуется только на 8 % меньше пота, чем при полном возмещении потерянной влаги. При испарении влаги снижается и вес человека. Считается допустимым для человека уменьшение массы его тела на 2-3 % путем испарения влаги (обезвоживание организма). Обезвоживание на 6 % влечет за собой нарушение умственной деятельности, снижение остроты зрения; испарение влаги на 15-20 % приводит к смертельному исходу.

Вместе с потом организм теряет значительное количество минеральных солей (до 1 %, в том числе 0,4-0,6 % NaCl). При неблагоприятных условиях потеря жидкости может достигать 8-10 л за рабочую смену, а в ней содержится до 60 г поваренной соли (всего в организме человека около 140 г NaCl). Потеря соли лишает кровь способности удерживать воду и приводит к нарушению деятельности сердечно-сосудистой системы. При высокой температуре воздуха легко расходуются углеводы, жиры, разрушаются белки.

Кроме температуры, влажности и скорости движения воздуха на самочувствие человека оказывает влияние барометрическое давление воздушной среды. Особенно чувствительны к изменению давления люди с заболеваниями сердечно-сосудистой системы и гипертонией. От давления существенным образом зависит дыхание человека, (поступление кислорода в организм человека). Изменение давления за счет климатических условий невелико, поэтому здоровые люди не наблюдают каких-либо заметных изменений в своем самочувствии. Однако с изменением высоты над уровнем моря атмосферное давление меняется весьма существенно. При недостатке кислорода воздуха наступает кислородное голодание – гипоксия, появляется головная боль, головокружение, замедленная реакция, нарушение нормальной работы органов слуха и зрения, нарушение обмена веществ. К таким условиям человек может адаптироваться за счет постепенной акклиматизации к длительному пребыванию на различных высотах.

Необходимо создать условия, чтобы рабочие, выполняя работу различной трудоемкости при разных метеорологических условиях, сохраняли оптимальную температуру тела.

Микроклиматические параметры как оптимальные, так и допустимые зависят от периода года и категории работ по уровню энергозатрат.

Различают теплый и холодный периоды года. Теплый период года – период года, характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха +10 °С и выше. Холодный период года – период года, характеризующийся среднесуточной температурой наружного воздуха +10 °С и ниже.

Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энергозатрат организма: легкие физические работы (категория I-Ia, Ib), средней тяжести физические работы (категория II-IIa, IIb) и тяжелые физические работы (категория III).

К *легким* (категория I) относятся работы с затратой энергии до 174 Вт, выполняемые сидя или стоя, не требующие систематического физического напряжения. Они подразделяются на категорию Ia (затраты до 139 Вт) и категорию Ib (затраты 140-174 Вт).

К *работам средней тяжести* (категория II) относят работы с затратой энергии 175-232 Вт (категория IIa) и 233-290 Вт (категория IIб). В категорию IIa входят работы, связанные с постоянной ходьбой, выполняемые стоя или сидя, но не требующие перемещения тяжестей; в категорию IIб – работы, связанные с ходьбой и переноской небольших (до 10 кг) тяжестей.

К *тяжелым работам* (категория III) относят работы, связанные с систематическим физическим напряжением, в частности с постоянным передвижением, переноской значительных (более 10 кг) тяжестей, с затратой энергии более 290 Вт.

Из приложения № 6 видно, что для одного и того же периода года при переходе от I к III категории температуры воздуха и поверхностей снижаются, а скорость движения воздуха увеличивается. Это связано с необходимостью поглощения большего количества тепла, выделяемого организмом человека при тяжелой физической работе.

2. Контроль параметров микроклимата. Измерения показателей микроклимата проводится в начале, середине и конце холодного и теплого периода года не менее 3 раз в смену (в начале, середине и конце). При колебаниях показателей микроклимата, связанных с технологическими причинами, измерения необходимо проводить также при наибольших и наименьших величинах термических нагрузок на работающих, имеющих место в течение рабочей смены.

Температуру, относительную влажность и скорость движения воздуха измеряют на высоте 1,0 м от пола или рабочей площадки при работах, выполняемых сидя, и на высоте 1,5 м – при работах, выполняемых стоя. Измерения проводят как на постоянных, так и на непостоянных рабочих местах при их минимальном и максимальном удалении от источников локального тепловыделения, охлаждения или влаговыведения (нагретых агрегатов, окон, дверных проемов, ворот, открытых ванн).

Актинометр предназначен для определения интенсивности теплового излучения определяют актинометром (рисунок 1), на задней стенке которого расположены белые и зачерненные алюминиевые пластины, соединенные с термопарами. Принцип действия прибора основан на возбуждении электродвижущей силы термопарами вследствие того, что черные пластинки под воздействием лучистой энергии нагреваются до более высокой температуры, чем белые. Электродвижущая сила регистрируется гальванометром, шкала которого отградуирована в кал/(см²×мин).

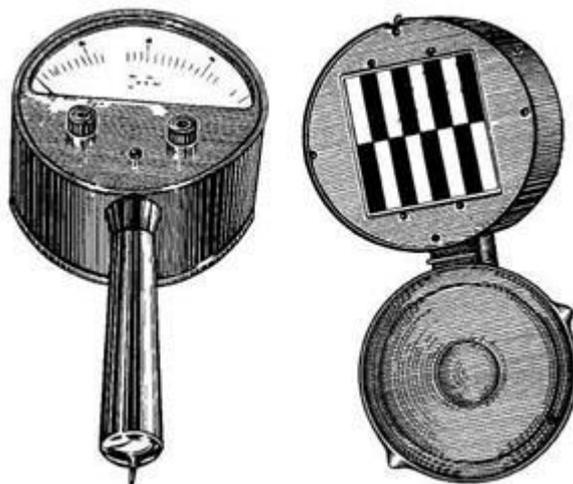


Рис. 1

3. Измерение скорости движения воздуха. Для измерения больших скоростей движения воздуха в производственной практике применяют крыльчатые и чашечные анемометры. Эти анемометры чаще всего применяют для оценки работы вентиляционных систем. Принцип действия механический: под давлением движущегося воздуха ось прибора с закрепленными на ней крылышками или чашечками начинает вращаться и тем быстрее, чем больше скорость движения воздуха.

Для оценки малых скоростей воздуха на рабочих местах применяют термоанемометры и кататермометры. *Термоанемометр* – батарейный прибор на полупроводниках. Принцип действия основан на изменении сопротивления в датчике прибора, которое происходит при изменении температуры и скорости движения воздуха. Принцип работы *кататермометра*, представляющего собой спиртовой термометр с резервуаром до 20 мл, основан на измерении скорости падения

температуры при охлаждении от 38 до 35 °С, что позволяет судить о подвижности окружающего воздуха.

Крыльчатый анемометр

Колесо с пластинками-крылышками из тонкого алюминия, повернутыми под углом 45° к направлению воздушного потока и оси колеса, соединено червячной передачей со счетчиком оборотов. Прибор вводится в воздушный поток так, чтобы ось была параллельна направлению движения воздуха, и включается нажатием рычажка, одновременно включается и секундомер для отсчета времени.



Рис. 2

Основными недостатками *крыльчатых анемометров* являются их большие размеры и малые пределы измерения. Точность измерения в большой степени зависит от наклона оси прибора к направлению воздушного потока. Этим недостатком не имеют чашечные анемометры.

Анемометр чашечный МС-13 предназначен для измерения средней скорости воздушного потока в промышленных условиях и средней скорости ветра на метеорологических станциях. Он также может использоваться в практике технической оценки зданий и сооружений. ГОСТ 6376-74. Применяется для работы при температуре воздуха от -45 до +50°С, относительной влажности воздуха 90 % при температуре 20 °С. Диапазон измерения средней скорости воздушного потока - от 1 до 20 м/с, Чувствительность не более 0,8 м/с. Ветроприемником анемометра МС-13 (см. рис. 3) служит четырехчашечная вертушка 4, насаженная на ось 5, вращающаяся в опорах. На нижнем конце оси нарезан червяк 6, связанный с редуктором, передающий движение трем указывающим стрелкам. Циферблат 2 имеет соответственно шкалы единиц, сотен, тысяч. Червяк 6 через червячное колесо и триб передает движение центральному колесу, на оси которого закреплена стрелка 3 шкалы единиц.

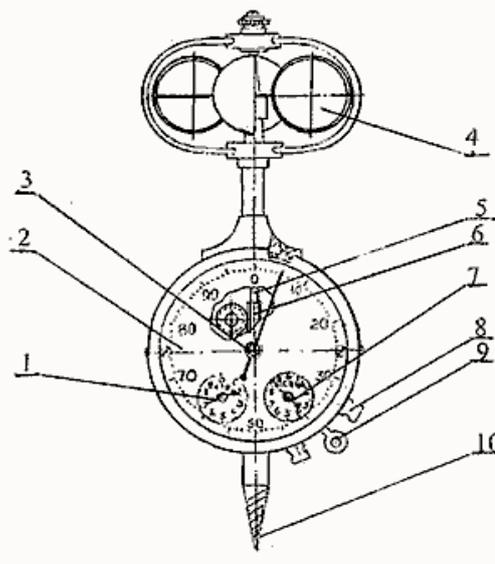


Рис. 3

1 – стрелка шкалы сотен; 2 – циферблат; 3 – стрелка шкалы единиц; 4 – вертушка; 5 – ось; 6 – червяк; 7 – стрелка шкалы тысяч; 8 – ушки; 9 – арретир; 10 – винт

Триб центрального колеса через промежуточное колесо приводит во вращение малое колесо, на оси которого насажена стрелка (шкалы сотен).

От малого колеса через второе промежуточное колесо вращение передается второму малому колесу, ось которого несет на себе стрелку шкалы тысяч 7. Включение и выключение механизма производится арретиром 9, один конец которого находится под изогнутой пластинчатой пружинкой, являющейся подпятником червячного колеса. Для выключения

счетного механизма арретир 9 поворачивают по часовой стрелке. Другой конец арретира при этом поднимает пластинчатую пружину, которая, перемещая ось колеса в осевом направлении, выводит червячное колесо из зацепления с червяком 6. При повороте арретира против часовой стрелки червячное колесо входит в зацепление с червяком и ветроприемник анемометра МС-13 соединяется с редуктором.

Механизм анемометра МС-13 закреплен в корпусе из пластмассы, нижняя часть корпуса заканчивается винтом 10, служащим для крепления анемометра на стойке или шесте. В корпусе анемометра по обе стороны арретира 9 ввернуты ушки 8, через которые пропускается шнур для включения и выключения анемометра, поднятого на стойке (шесте). Шнур привязывается за ушко 8 арретира 9. Ветроприемник анемометра МС-13 защищен крестовиной из проволочных дужек, служащей также для крепления верхней опоры оси ветроприемника.

ХОД РАБОТЫ

1. Ознакомиться с устройством и техническими данными чашечного анемометра МС-13.
2. Перед измерением скорости ветра записывают показания по трем шкалам.
3. Включить вентилятор, в результате чего возникает поток воздуха на рабочем месте. Скорость воздушного потока необходимо определить в трех точках помещения, взятых произвольно.
3. В измеряемом воздушном потоке анемометр МС-13 устанавливают вертикально и через 10-15 с одновременно включают арретиром механизм анемометра и секундомер.
4. Экспонирование анемометра в воздушном потоке производят в течение одной или двух минут.
5. По истечении этого времени, механизм и секундомер выключают и записывают показания по шкалам анемометра и время экспозиции в секундах.
6. Разность между конечным и начальным отсчетом делят на время экспозиции и определяют число делений шкалы, приходящихся на одну секунду.
7. Скорость ветра определяется по градуировочному графику, приложенному к анемометру. На вертикальной оси графика находят число делений шкалы, приходящихся на одну секунду. От этой точки проводится горизонтальная линия до пересечения с прямой графика, а из точки пересечения проводится вертикальная линия до пересечения с горизонтальной осью. Точка пересечения вертикали с горизонтальной осью графика дает искомую скорость воздушного потока в м/сек.
8. Результаты замеров занести в таблицу. Используя тарировочные графики (приложение № 7 и № 8), определить скорость движения воздуха в выбранных точках.
9. В таблицу записать фактические значения метеорологических факторов.
10. Сравнить метеоусловия на рабочем месте с оптимальными и допустимыми параметрами воздуха в рабочей зоне согласно ГОСТ 12.1. 05 -88 и санитарным нормам СН- 245- 71 (приложение № 6) и сделать выводы о соответствии.

Таблица

Показатели	Расстояние от анемометра до вентилятора, м		
	1,0	1,5	2,0
Показания анемометра до замера			
Показания анемометра после замера в течение 10 с			
Разность показаний анемометра до и после замера			
Скорость движения потока воздуха, м/с			

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. От чего зависит выделение теплоты в организме человека?
2. Какие основные нормируемые показатели микроклимата рабочей зоны вы знаете?
3. Что является источником теплового излучения на предприятии?
4. Как влияют параметры микроклимата на самочувствие человека?
5. Какие параметры микроклимата называются допустимыми и оптимальными?
6. От чего зависят значения оптимальных и допустимых параметров микроклимата?
7. Каковы механизмы обмена теплотой между телом человека и окружающей его средой?

Объясните их сущность.

8. Что такое гипоксия, при каких условиях и почему она возникает?
9. Что такое комфортные и дискомфортные условия?
10. Как измеряют температуру воздуха производственных помещений?
11. Какими приборами измеряют скорость движения и относительную влажность воздуха?
12. Для чего применяются термоанемометры, кататермометры и актинометры? Принцип их действия?

Лабораторная работа № 6

Тема: ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ НА УСЛОВИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: определение состояния освещенности рабочих мест и ее соответствие нормативам, приобретение навыков работы с люксметром.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: люксметр Ю-116 с набором светофильтров.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

1. Общие положения. Свет является естественным условием жизни человека, сохранения его здоровья. Сохранение зрения человека, состояния его центральной нервной системы и безопасность на производстве в значительной мере зависят от условий освещения. От освещения зависят также производительность труда и качество выпускаемой продукции.

Производственное освещение – это такая система естественного и искусственного освещения, которая позволяет работающим нормально осуществлять определенный технологический процесс.

Глаз человека лучше всего приспособлен к естественному освещению. Однако при недостаточном естественном освещении или при его отсутствии применяют искусственное освещение, которые обеспечивают возможность нормальной жизни и деятельности людей.

Естественное освещение – освещение помещений светом неба (прямым или отраженным), проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях. Естественное освещение подразделяется на боковое, верхнее и комбинированное.

Боковое естественное освещение – освещение помещения через световые проемы в наружных стенах.

Верхнее естественное освещение – освещение помещения через световые проемы в стенах в местах перепада высоты здания.

Комбинированное естественное освещение – сочетание верхнего и бокового естественного освещения.

Освещенность, создаваемая естественным дневным светом, изменяется в чрезвычайно широких пределах, что обусловлено временем дня, сезоном года, наличием облачности или осадков, а также географическим расположением местности. В пределах Российской Федерации в ясный день полуденная освещенность колеблется от 4000 (в декабре) до 3000 лк (в июне).

Поэтому естественное освещение помещений нельзя характеризовать абсолютной величиной освещенности. Основным показателем нормирования освещенности является коэффициент естественной освещенности (*КЕО*, %).

Коэффициент естественной освещенности – отношение естественной освещенности внутри помещения ($E_{ВН}$) к освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода ($E_{НАР}$), выраженное в процентах:

$$E = E_{ВН} / E_{НАР} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $E_{ВН}$ и $E_{НАР}$ – соответственно освещенность внутри и снаружи здания.

Возможные значения *КЕО* и другие сопутствующие величины зрительной работы при естественном и искусственном освещении приведены в приложении № 9.

Искусственное освещение – освещение помещения только источниками искусственного света. Искусственное освещение решает ряд задач недоступных естественному освещению. От особенностей устройства искусственного освещения, кажущихся иногда незначительными, во многом зависят и производительность труда, и безопасность работы, и сохранность зрения, и архитектурный облик помещения.

По конструктивному исполнению искусственное освещение может быть двух систем: общее – осуществляемое расположением светильников на потолке помещения; комбинированное – совокупность общего освещения и местных светильников, расположенных непосредственно на рабочих местах. Применение одного местного освещения внутри зданий не допускается.

Искусственное освещение подразделяется на: рабочее, аварийное, дежурное и охранное.

Рабочее освещение – освещение, обеспечивающее нормируемые осветительные условия в помещениях и в местах производства работ вне зданий.

Аварийное освещение – освещение, предусматриваемое в случае выхода из строя питания рабочего освещения. Аварийное освещение в свою очередь освещение подразделяется на: эвакуационное и резервное.

1) Эвакуационное освещение – вид освещения для эвакуации людей или завершения потенциально опасного процесса.

2) Резервное освещение – вид аварийного освещения для продолжения работы в случае отключения рабочего освещения.

Дежурное освещение – освещение в нерабочее время.

Охранное освещение – вид освещения, используемый для предотвращения опасности преступного вторжения или другой противоправной деятельности.

Искусственное освещение помещений может быть двух систем – общее и комбинированное.

Общее освещение – освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне равномерно или применительно к расположению оборудования.

Комбинированное искусственное освещение – освещение, при котором к общему искусственному освещению добавляют светильники, которые концентрируют световой поток непосредственно на рабочем месте.

Для искусственного освещения следует использовать энергоэкономичные источники света, отдавая предпочтение при равной мощности источникам света с наибольшей световой отдачей и сроком службы. Применение ламп накаливания общего назначения для освещения ограничивается Федеральным законом от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ. Согласно данному федеральному закону с 01 января 2011 года не допускается применение для освещения ламп накаливания общего назначения мощностью 100 Вт и более.

2. Требование к производственному освещению. Основное требование к производственному освещению – соответствие гигиеническим нормативам (СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 от 27 декабря 2010 г. № 783 введен в действие с 20 мая 2011 г.). Увеличение освещенности рабочей поверхности до определенного предела повышает *остроту зрения*, т.е. способность глаза раздельно воспринимать две точки, расположенные на некотором расстоянии одна от другой. От уровня освещенности зависит *устойчивость ясного видения*, которая особенно сильно возрастает при увеличении освещенности до 130-150 лк, повышается также и *скорость различения предметов*, особенно при увеличении освещенности до 400-500 лк. Одновременно возрастают общие возможности органов зрения и длительность выполнения работ, требующих большой точности и зрительного контроля, повышается производительность труда.

Большую роль играет рациональное направление световых потоков. Равномерность освещения рабочих поверхностей и помещения в целом достигается таким размещением светильников, при котором на рабочих поверхностях должны отсутствовать резкие тени, так как они создают неравномерное распределение яркости, искажают форму и размеры объектов и вызывают утомление зрения. Подвижные тени, кроме того, способствуют возникновению травм. *Яркость освещения* рабочей поверхности и окружающего пространства должна распределяться по возможности равномерно, так как при переходе взгляда с ярко освещенной поверхности на слабо освещенную и наоборот глаз должен адаптироваться, что вызывает его утомление. Адаптация глаза зависит от соотношений яркостей рассматриваемых поверхностей или (при переходе работника из одного пространства в другое) от соотношения яркостей освещения разных пространств. При переходе в плохо освещенное помещение адаптация длится 50-60 мин, а при переходе в сильно освещенное помещение – 8-10 мин. Равномерному распределению яркости способствует светлая окраска потолка, стен, оборудования.

Освещение должно обеспечивать необходимый спектральный состав света для правильной цветовой передачи. Правильную цветопередачу создает естественное освещение и искусственные источники света со спектральной характеристикой, близкой к естественному освещению.

Недостаточная освещенность, частые и резкие перепады ее в поле зрения, спектральный состав, несоответствующий естественному свету, пульсации светового потока приводят к напряжению зрения и вызывают утомление световоспринимающего и двигательного аппарата глаз, в результате чего развиваются такие состояния, как:

- астиопия, характерными признаками которой являются неясное видение, ломота и боль в области глазниц, головная боль, быстрая утомляемость. При длительной работе астиопия приводит к спазму аккомодации и возникающей при этом ложной близорукости;

- профессиональная близорукость (обычно не более 3,0 диоптрий), частота появления которой зависит от степени зрительного напряжения, его непрерывности и длительности;

- профессиональный нистагм – быстро повторяющиеся движения глазных яблок, дрожание век, головы, ухудшение самочувствия в результате работы при недостаточной освещенности.

Для обеспечения нормальной работы органа зрения производственное освещение нормируется в зависимости от вида освещения (естественное, искусственное) и разряда зрительной работы. Рационально устроенное освещение – один из показателей высокого уровня культуры труда, неотъемлемая часть эргономики и производственной эстетики. Положительное влияние правильно решенной системы освещения на производительность труда и его качество в настоящее время не вызывает сомнения. Так, солнечное освещение увеличивает производительность труда до 10 %, а создание рационального искусственного освещения – до 13 %, при этом в ряде производств, брак снижается до 20-25 %. Рациональное освещение обеспечивает психологический комфорт, способствует уменьшению зрительного и общего утомления, снижает опасность производственного травматизма.

3. Устройство прибора. Люксметр (Ю-116) применяется для контроля и измерения освещенности, создаваемой естественным и искусственным освещением. Переносной фотоэлектрический люксметр общепромышленного назначения применяется для контроля освещенности в промышленности, в сельском хозяйстве, на транспорте и других отраслях, а также для исследований, проводимых в научных, конструкторских и проектных организациях.

Принцип действия люксметров этих типов основан на явлении фотоэлектрического эффекта (превращение световой энергии в электрическую). Шкала прибора градуирована в единицах освещенности – люксах (лк).

Люксметр Ю-116 (рис. 1) состоит из измерителя (2) и отдельного фотоэлемента (1). На передней панели измерителя предусмотрены кнопки переключателя и таблички со схемой, связывающей действие кнопок и используемых насадок с диапазонами измерений. Диапазон измерений люксметра от 0,1 до 100000 лк. Шкалы прибора неравномерные, градуированы в люксах: одна шкала имеет 100 делений, вторая – 30 делений. Пределы допустимой погрешности в основном диапазоне измерений 5-30 и 20-100 лк (без насадок) не должны превышать $\pm 10\%$ от значения измеряемой освещенности. Прибор имеет две шкалы: 0-100 и 0-30. На каждой шкале точками отмечено начало диапазона измерений: на шкале 0-100 точка находится над отметкой 20 лк, на шкале 0-30 – над отметкой 5 лк. Данные точки означают, что если стрелка прибора находится ниже 20 или 5 лк для соответствующей

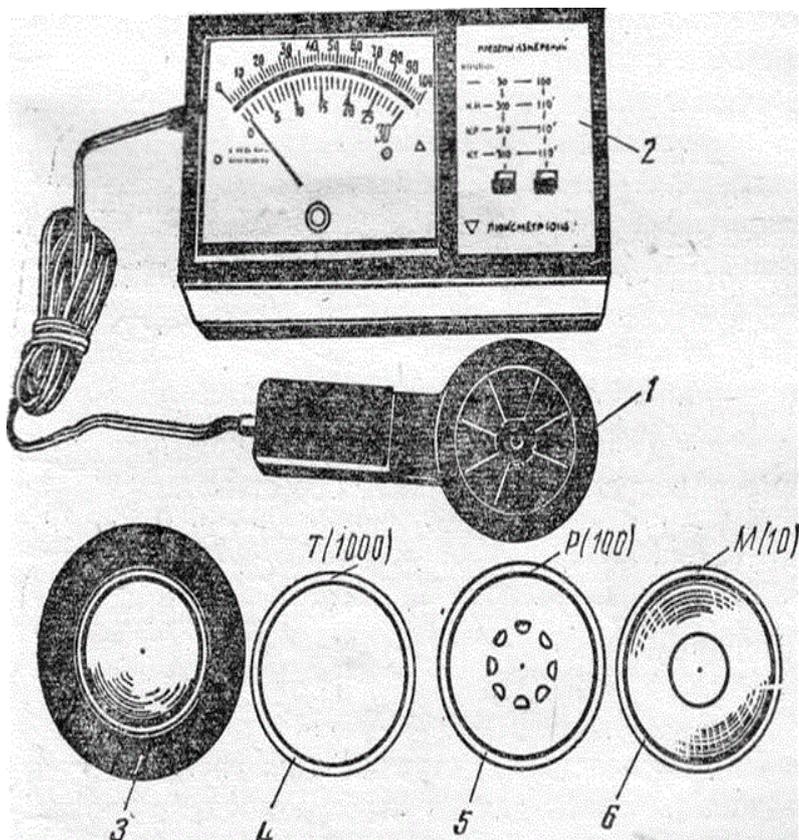


Рис. 1

шкалы, то следует, либо заменить насадки, либо перейти для отсчета на другую шкалу. Прибор комплектуется специальными насадками. Данные насадки необходимы для измерения при высокой освещенности (например, на улице или при ярком искусственном освещении). Каждая из трех насадок имеет буквенное обозначение (гравировки) – М (10) (4), Р (100) (5), Т (1000) (6). Эти насадки применяются не самостоятельно, а совместно с насадкой К (3). Каждая из этих трех насадок совместно с насадкой К образует систему с коэффициентом ослабления соответственно в 10, 100 и 1000 раз. Например, если при использовании совместно насадки К и Р стрелка прибора находится на значении 40, то истинное значение освещенности составляет: $40 \cdot 100 = 4000$ лк. То есть нужно показание прибора по соответствующей шкале умножить на коэффициент ослабления данной насадки. Диапазон измеряемых уровней освещенности люксметром Ю-116 со светофильтрами – до 100000 лк. Основная погрешность люксметров в рабочей части шкалы не превышает 10 %, при использовании светофильтра – 15 % от измеряемой величины. При эксплуатации люксметров необходимо: не допускать длительного воздействия на поверхность фотоэлемента освещенности, превышающей установленный на люксметре предел измерения; предохранять поверхность фотоэлемента от загрязнений, попадания брызг и прикосновений; беречь приборы от толчков и тряски.

ХОД РАБОТЫ

1. Наметить точки замера освещенности в помещении (см. рис. 2). Схему следует нарисовать в тетради.

2. Выключить искусственное освещение в помещении.

3. Подключить к измерителю (2) фотозлемент (1).

4. Установить в фотозлемент насадку Р совместно с насадкой К.

5. Установить люксметр в горизонтальное положение. Данное условие касается также и фотозлемента. При измерении фотозлемент располагается на высоте 1-1,5 м от пола.

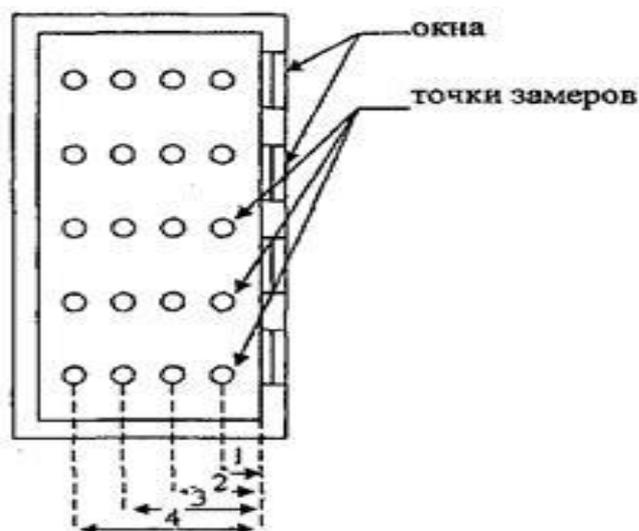


Рис. 2

План-схема точек замера освещенности в помещении

6. Нажать кнопку, отвечающую за шкалу 0-100, и снять показание прибора. В том случае, если стрелка измерителя находится ниже значения 20 лк, - необходимо перейти на шкалу 0-30 (для этого необходимо нажать на другую кнопку) и тогда истинное значение освещенности снять именно с этой шкалы. Если стрелка измерителя зашкаливает за значение 100, при использовании шкалы 0-100, то необходимо сменить насадку Р на Т и повторить измерения. Если стрелка измерителя находится ниже значения 5 лк на шкале 0-30, то необходимо сменить насадку Р на М и повторить измерения.

7. Измерить освещенность в точках, намеченных на план-схеме.

8. Рассчитать средние значения по четырем точкам замеров в помещении для 1, 2, 3 и 4 м от окна. Полученные значения следует скорректировать путем умножения на поправочный коэффициент Z для естественного освещения ($Z = 0,8$). Полученные результаты измерений занести в табл. 3 ($E_{ВН}$, лк).

9. Измерить наружную освещенность. Измерение освещенности на открытом пространстве следует начинать с насадки Т в комплекте с насадкой К. Измерять наружную освещенность следует на открытой со всех сторон площадке, где небосклон не закрыт близко стоящими зданиями или деревьями. Измерять следует в пяти точках. Полученные значения следует скорректировать путем умножения на поправочный коэффициент Z для естественного освещения ($Z = 0,8$). Среднее значение освещения снаружи здания занести в табл. 3. ($E_{НАР}$, лк).

10. По формуле (1) рассчитать KEO . Коэффициент естественной освещенности рассчитывается для каждой из точек (1, 2, 3 и 4 м от окна).

11. Нормируемые значения $KEO e_n$, % для зданий, располагаемых в различных районах, следует определять по формуле:

$$KEO e_n = KEO \cdot e_n, \quad (2)$$

где KEO – коэффициент естественной освещенности, определяемый с помощью люксметра; e_n – коэффициент светового климата (табл. 1).

Климат световой – совокупность условий естественного освещения в той или иной местности (освещенность и количество освещения на горизонтальной и различно ориентированных по сторонам горизонта вертикальных плоскостях, создаваемых рассеянным светом неба и прямым светом солнца, продолжительность солнечного сияния (ПСС) и альbedo подстилающей поверхности за период более десяти лет).

Альbedo поверхности - отношение количества отраженной радиации к общему количеству радиации, падающей на данную поверхность. Выражается в процентах. Альbedo поверхности почвы меняется в пределах 10-35 %. С возрастанием влажности почвы альbedo снижается. Альbedo снега 80-90 %.

Таблица 1

Пояс светового климата	Коэффициент светового климата
1	1,2
2	1,1
3	1,0
4	0,9
5	0,8

Для зданий в 3-м поясе по световому климату (центр Европейской части России) независимо от их ориентации коэффициенты светового климата в солнечности климата принимаются равными 1.

Полученные результаты KEO e_n , % занести в табл. 3.

12. Используя справочный материал «Нормы проектирования искусственного освещения» (табл. 2) и «Требования к освещению помещений жилых и общественных зданий» (приложение № 9) окончательно заполнить таблицу 4.

13. Класс условий труда в зависимости от параметров световой среды определяется согласно данным таблицы 2.

14. Общий класс условий труда в зависимости от параметров световой среды устанавливается по максимальному классу условий труда из п. 13.

15. По полученным данным построить график изменения KEO в помещении (по оси ординат отложить значения KEO e_n , %, по оси абсцисс – расстояние в метрах от окна до точек измерения).

16. Сделать вывод о возможности выполнять следующие работы: чертежные (толщина линии 0,3 мм) в трех метрах от окна; измерительным инструментом (толщина риски микрометра 0,15 мм) в 4 м от окна.

Таблица 2 – Нормы проектирования искусственного освещения

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Освещенность, лк	
						Комбинированное освещение	Общее освещение
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	А	Малый	Темный	5000	1500
			Б	средний	средний	4000	1250
			В		малый	светлый	2500
			Г	средний	средний	1500	400
Очень высокой точности	0,15-0,3	II	А	малый	темный	4000	1250
			Б	средний	средний	3000	750
			В		малый	светлый	2000
			Г	средний	средний	1000	300
Высокой точности	0,3-0,5	III	А	малый	темный	2000	500
			Б	средний	средний	1000	300
			В		малый	светлый	750
			Г	средний	средний	400	200

Объект различения в мм – размер наименьшего элемента, который необходимо увидеть в процессе работы (точка на экране ПК, самая тонкая линия на чертеже или приборной шкале и т. д.).

Фон – поверхность, на которой рассматривается объект различения, характеризуется коэффициентом отражения ρ . При ρ менее 0,2 фон считается темным, от 0,2 до 0,4 – средним и более 0,4 – светлым.

Контраст объекта с фоном – характеризует соотношение яркости рассматриваемого объекта и фона. При слабом различении объекта на фоне контраст считается малым, объект заметен на фоне – средним; четко различается на фоне – большим.

Таблица 3 – Показатели естественной освещенности по результатам измерений

Точки замера	$E_{вн},$ лк	$E_{нар},$ лк	KEO $e_n, \%$	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Относительная продолжительность зрительной работы при направлении и зрении на рабочую поверхность, %	Характеристика зрительной работы	Класс условий труда в зависимости от параметров световой среды	Общий класс условий труда в зависимости от параметров световой среды
1 м от окна										
2 м от окна										
3 м от окна										
4 м от окна										

2. Исследование искусственной освещенности.

2.1. Составить схему лаборатории и наметить точки замера освещенности. Точки (от 6 до 8) расположить по всей площади помещения и пронумеровать их. Схема помещения (подобно рис. 2) должна быть отражена в тетради.

2.2. Включить искусственное освещение в помещении при закрытых шторах.

2.3. Провести измерения освещенности в каждой точке на уровне рабочей поверхности ($E_{изм1}$, лк), по методике, указанной в п. 6. Полученные значения занести в табл. 4.

Таблица 4 – Показатели искусственной освещенности по результатам измерений

Точки замеров	$E_{изм1},$ лк	$E_{изм2},$ лк	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Относительная продолжительность зрительной работы при направлении и зрении на рабочую поверхность, %	Характеристика зрительной работы	Класс условий труда в зависимости от параметров световой среды	Общий класс условий труда в зависимости от параметров световой среды
...									

Таблица 5 – Поправочный коэффициент для различных источников света

Наименование источника освещения	Значение поправочного коэффициента Z
Лампы накаливания	
Лампы марки ЛД	0,88
Лампы марки ЛДЦ	0,95
Лампы марки ЛБ	1,05
Лампы марки ДРЛ	1,20
Естественное освещение	0,80

2.4. Используя поправочный коэффициент Z (таблица 5) для различных источников света, определить истинное значение искусственной освещенности $E_{ИЗМ2}$, лк. Полученные значения занести в табл. 4.

2.5. Используя справочный материал «Требования к освещению помещений жилых и общественных зданий» (приложение № 9) окончательно заполнить таблицу 4.

2.6. Класс условий труда в зависимости от параметров световой среды определяется согласно данным таблицы 2.

2.7. Общий класс условий труда в зависимости от параметров световой среды устанавливается по максимальному классу условий труда из п. 2.6;

2.8. Сделать вывод о возможности выполнять следующие работы: рукописные работы (наименьший размер объектов различения от 0,15 до 0,3 мм) в исследуемых точках.

2.9. После окончания измерений прибор должен быть уложен в футляр.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите и охарактеризуйте основные виды производственного освещения.
2. Каким коэффициентом оценивается естественная освещенность, как этот коэффициент рассчитывается?
3. Назовите основные требования к производственному освещению.
4. Какие приборы используются для измерения естественной и искусственной освещенности?
5. Какие заболевания могут развиваться у человека при несоответствии освещенности установленным нормативам?

Лабораторная работа №7

Тема: ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ВЕЛИЧИН

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: познакомиться с различными методами измерения линейных величин, изучить принцип действия различных измерительных приборов, научиться пользоваться ими.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: штангенциркуль, микрометр, измеряемые объекты.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Нередко при обследовании и оценке технического состояния зданий и сооружений геометрические параметры дефектов измеряются штангенциркулями с глубиномером по ГОСТ 166-89, линейками и рулетками металлическими с ценой деления 1 мм по ГОСТ 427-75, ГОСТ 7502-89.

Под измерением понимается процесс сравнения измеряемой величины с однородной физической величиной, условно принятой за единицу.

Под физической величиной понимают свойство, которое в качественном отношении является общим для многих физических объектов, но в количественном – индивидуально для каждого из них. Значение физической величины - это ее оценка в виде некоторого числа единиц, принятых для данной величины. Отвлеченное число, входящее в значение физической величины, называется числовым значением.

Любая физическая величина обладает истинным значением, которое в количественном и качественном отношении абсолютно отражает соответствующие свойства объекта.

Истинное значение физической величины не может быть определено в физическом эксперименте.

Измерить физическую величину можно только с определенной степенью точности. Близость результата, полученного при измерении, к истинному значению измеряемой величины обуславливает точность измерения. Чем ближе результат измерения к истинному значению, тем выше точность измерения. Аналогично, степень приближения показаний прибора к истинному значению искомой величины обуславливает точность прибора.

Истинное значение физической величины найти нельзя, поэтому вместо него часто используют действительное значение физической величины – такое значение, которое определено экспериментально и так близко приближается к истинному, что для данной конкретной цели им можно пользоваться вместо истинного. Вместо истинного значения чаще всего берут среднее значение нескольких измерений данной величины.

Для осуществления измерений физической величины необходимы средства измерения. К ним относятся технические средства (измерительные приборы), меры измеряемых величин (эталоны), методы измерения, форма выражения результата (таблица, график и т.п.) и оценка погрешности измерения.

ПРОСТЕЙШИЕ ИЗМЕРИТЕЛИ ЛИНЕЙНЫХ ВЕЛИЧИН

НОНИУС представляет собой линейку, которую можно перемещать вдоль масштабной линейки. Он служит для отсчета десятых долей меньшего деления масштаба. Нониусы бывают линейными и угловыми. Простейшими приборами, в которых используются нониусы, являются штангенциркуль, угломер и др. Измерение длины производят масштабными линейками. Величина наименьшего деления такой линейки называется ценой одного деления. Обычно цена одного деления линейки равна 1 мм. Чтобы найти цену деления, необходимо всю длину линейки или шкалы, выраженную в единицах длины, разделить на количество делений, нанесенных на линейке.

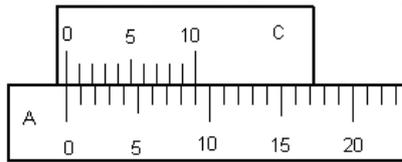


Рис. 1

Линейный нониус имеет шкалу C , m делений которой равны $m-1$ делениям шкалы масштабной линейки A . Нониус может перемещаться вдоль линейки A (см. рис.1). Если a – цена деления нониуса, b – цена деления масштабной линейки, m – число делений на нониусе, то связь между указанными делениями линейки и нониуса следующая:

$$am = (m-1)b \quad (1)$$

Получаемая из формулы (1) разность $b - a = b/m$ называется точностью нониуса, т.е. точность нониуса равна отношению цены деления масштабной линейки к числу делений на нониусе. Точность нониуса часто бывает равной $1/10$ мм, в этом случае $b = 1$ мм, $m = 10$.

Измерение при помощи нониуса производят следующим образом: к нулевому делению шкалы линейки прикладывают один конец измеряемого тела (B), к другому концу тела - нониус (C) (см. рис. 2). Из рис. 2 видно, что искомая длина тела B :

$$L = kb + \Delta L, \quad (2)$$

где k – целое число делений масштабной линейки в мм, укладываемое в измеряемой длине, ΔL – отрезок длины L , представляющий доли миллиметра.

Обозначим через n , то деление нониуса, которое совпадает с любым каким-то делением масштабной линейки, тогда:

$$\Delta L = nb - na = n(b - a) = n(b/m). \quad (3)$$

Из формул (2) и (3) находим искомую длину $L = kb + n(b/m)$.

Если положить, что $b = 1$ мм, $m = 10$ делений (что обычно и бывает), то искомая длина будет

$$L = (k + n/10) \quad (4)$$

Таким образом, длина измеряемого тела равна целому числу k мм масштабной линейки плюс десятые доли числа n . Число n показывает тот номер деления нониуса, который совпадает с некоторым делением масштабной линейки.

На рис. 2 приведен пример отсчета длины: $L = (9 + 6/10)$ мм = 9,6 мм, т.к. $k = 9$, $n = 6$.

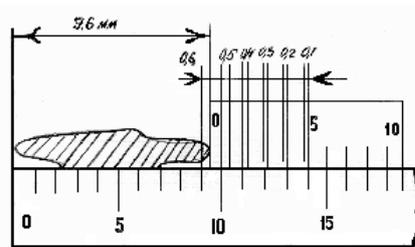


Рис. 2

Линейный нониус используется в инструменте, который называется штангенциркулем.

Штангенциркуль представляет собой масштабную линейку (рис. 3) наименьшим делением в 1 мм, на которой закреплены две двойные ножки: одна – неподвижная, другая – соединенная с подвижной рамкой. На подвижной рамке наносится шкала нониуса. Если ножки штангенциркуля сведены вместе, то нули масштабной линейки и нониуса совпадают.

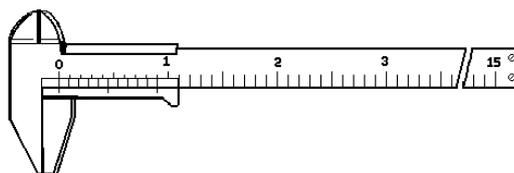


Рис. 3

Измеряемое тело помещают между ножками штангенциркуля. По масштабной линейке отсчитывают количество целых миллиметров до начала шкалы нониуса. Десятые доли миллиметра определяют по делению нониуса, совпавшему с делением масштабной линейки.

С помощью штангенциркуля можно измерить не только внешние, но и внутренние размеры, например, диаметр трубки. Для этого пользуются верхними острыми выступами ножек штангенциркуля, которые опускают в измеряемое отверстие и раздвигают до соприкосновения их со стенками отверстия, а затем производят отсчет точно так же, как и при измерении внешних размеров тела. В данном случае к полученному значению прибавляют 10 мм (размер ножек).

В некоторых штангенциркулях цена нониуса составляет 0,05 мм, в этом случае количество делений шкалы нониуса будет равно 20.

Для измерения с точностью, большей 0,1 мм, пользуются приборами, действие которых основано на использовании микрометрического винта. Один из таких приборов – *микрометр* (рис. 4).

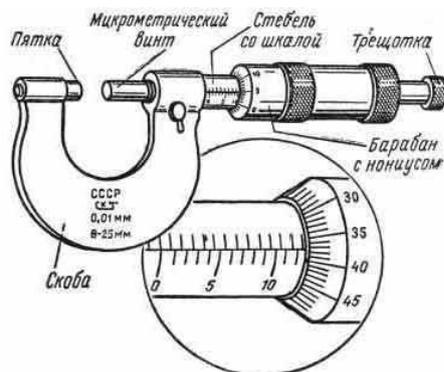


Рис. 4

ХОД РАБОТЫ

Определение размеров объекта с помощью штангенциркуля

1. Поместить цилиндр между ножками штангенциркуля, слегка зажав ножки, и зафиксировать при помощи винта.
2. Посчитать количество полных делений по масштабной линейке (k) до начала шкалы нониуса и определить порядковый номер деления шкалы нониуса, которое наилучшим образом совпало с любым делением масштабной линейки (n).
3. По формуле $L = (k + n \cdot 0,1)$ определить размер объекта в мм.
4. Полученные результаты занести в таблицу, вычислить абсолютную и относительную ошибки.
5. Измерить внутренний диаметр цилиндра, для этого опускают ножки штангенциркуля в измеряемое отверстие и раздвигают до соприкосновения их со стенками отверстия.
6. Определить размер, повторив пункты 2-4.
7. Измерить внешний диаметр цилиндра. Для этого цилиндр зажимают ножками штангенциркуля, удерживая его в горизонтальном положении, фиксируют с помощью винта.
8. Определить размер, повторив пункты 2-4.

Таблица

№ п/п	Наименование образца	к	п	L, мм	ΔL , мм	ϵ , %
1	Глубина цилиндра					
2						
3						
Ср.зн.						

1	Высота цилиндра					
2						
3						
Ср.зн.		-	-			
1	Внутренний диаметр цилиндра					
2						
3						
Ср.зн.		-	-			
1	Внешний диаметр цилиндра					
2						
3						
Ср.зн.		-	-			

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как определить цену деления какой-либо шкалы?
2. Что такое линейный и угловой нониус?
3. Устройство штангенциркуля и методика измерения им.
4. Методика измерения глубиномером.
5. В каких целях может использоваться штангенциркуль при технической оценке зданий и сооружений?
6. В каких случаях для измерения пользуются микрометром?
8. Почему для увеличения точности измерений число измерений должно быть не менее трех?

Приложения

1. Плотность ρ твердых тел и жидкостей (кг/м³, или г/см³)

Твердые тела

Алюминий.....	2,70	Марганец.....	7,40
Вольфрам.....	19,3	Медь.....	8,93
Железо (чугун, сталь).....	7,87	Никель.....	8,80
Золото.....	19,3	Платина.....	21,4
Каменная соль.....	2,20	Свинец.....	11,3
Латунь.....	8,55	Серебро.....	10,5

Жидкости (при 15 °С)

Вода при 4 °С.....	1,00	Ртуть.....	13,6
Глицерин.....	1,26	Сероуглерод.....	1,26
Керосин.....	0,8	Спирт.....	0,8
Масло машинное.....	0,9	Эфир.....	0,7
Масло касторовое.....	0,96	Масло растительное.....	0,9

2. Динамическая вязкость η жидкостей при 20 °С (мПа·с)

Вода.....	1,05	Масло машинное.....	200
Глицерин.....	1480	Спирт этиловый.....	1,22
Масло касторовое.....	987	Ацетон.....	0,337

3. Поверхностное натяжение σ жидкостей при 20 °С (мН/м)

Ацетон.....23,7	Мыльная вода.40
Вода. 72,6	Ртуть.5·10 ²
Глицерин.62	Спирт.22

4. Психрометрическая таблица

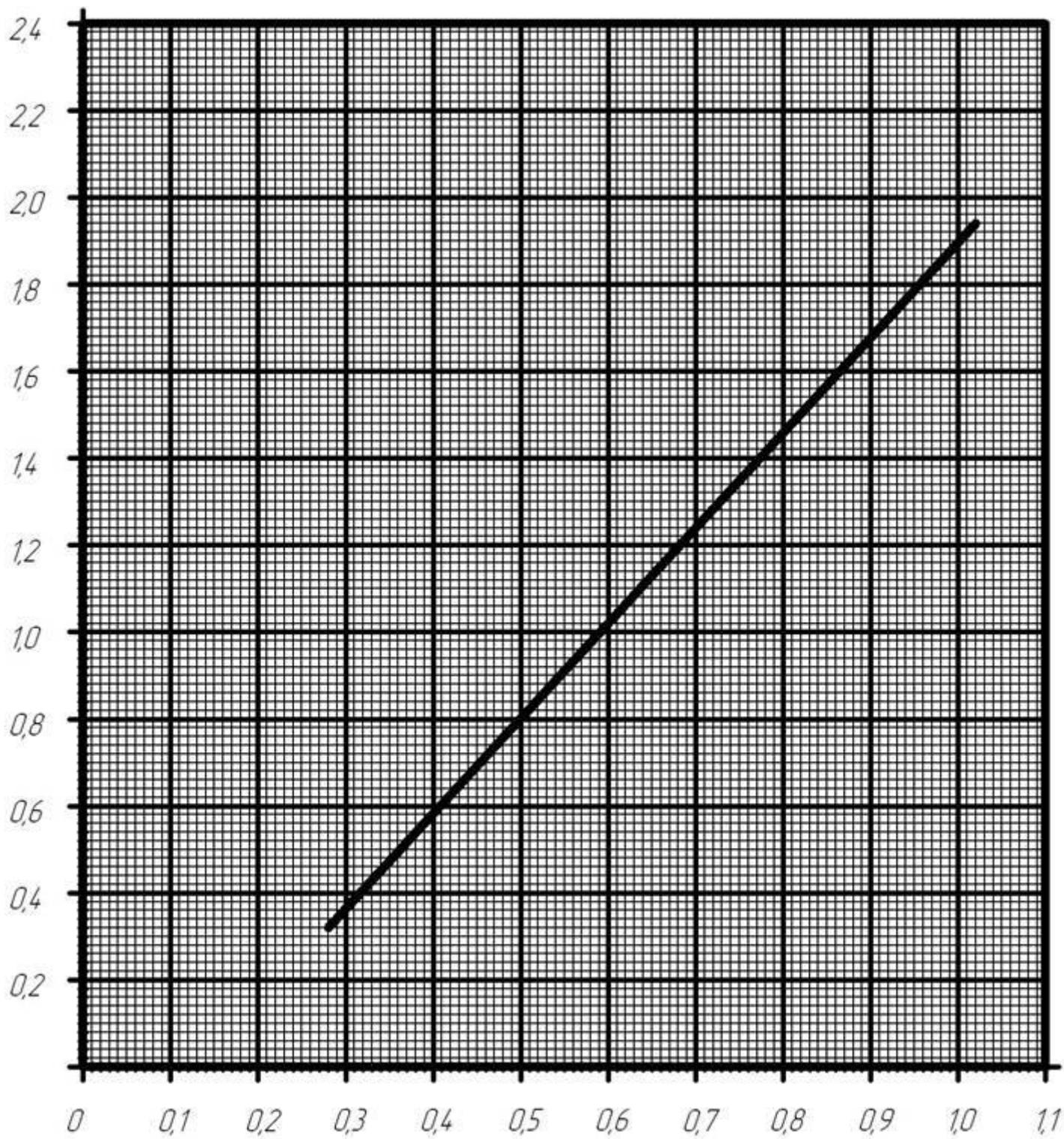
Показания сух. терм., °C	Разность показаний сухого и влажного термометров, °C									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Относительная влажность, %									
15	100	89	80	71	61	52	44	36	27	20
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40
27	100	93	85	78	71	64	58	52	47	41
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42
29	100	93	86	79	72	65	59	54	49	43
30	100	93	86	79	73	66	60	55	50	44

5. Таблица зависимости упругости насыщенных паров от температуры

t, °C	Десятые доли градуса									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
5	6,54	6,59	6,64	6,68	6,73	6,78	6,82	6,87	6,92	6,97
6	7,01	7,06	7,11	7,16	7,21	7,26	7,31	7,36	7,41	7,46
7	7,51	7,57	7,62	7,67	7,72	7,78	7,83	7,88	7,94	7,99
8	8,05	8,10	8,16	8,21	8,27	8,32	8,38	8,44	8,50	8,55
9	8,61	8,67	8,73	8,79	8,85	8,91	8,97	9,03	9,09	9,15
10	9,21	9,27	9,33	9,40	9,46	9,52	9,59	9,65	9,72	9,78
11	9,85	9,91	9,98	10,04	10,11	10,18	10,25	10,31	10,38	10,45
12	10,52	10,59	10,66	10,73	10,80	10,87	10,94	11,02	11,09	11,16
13	11,23	11,31	11,38	11,46	11,53	11,61	11,68	11,76	11,84	11,91
14	11,99	12,07	12,15	12,23	12,30	12,38	12,46	12,55	12,63	12,71
15	12,79	12,87	12,96	13,04	13,12	13,21	13,29	13,38	13,46	13,55
16	13,64	13,72	13,81	13,90	13,99	14,08	14,17	14,26	14,35	14,44
17	14,53	14,63	14,72	14,81	14,91	15,00	15,10	15,19	15,29	15,38
18	15,48	15,58	15,68	15,78	15,87	15,97	16,07	16,18	16,28	16,38
19	16,48	16,59	16,69	16,79	16,90	17,00	17,11	17,22	17,32	17,43
20	17,54	17,65	17,76	17,87	17,98	18,09	18,20	18,31	18,43	18,54
21	18,66	18,77	18,89	19,00	19,12	19,24	19,35	19,47	19,59	19,71
22	19,83	19,95	20,08	20,20	20,32	20,45	20,57	20,70	20,82	20,95
23	21,07	21,20	21,33	21,46	21,59	21,72	21,85	21,98	22,12	22,25
24	22,38	22,52	22,65	22,79	22,93	23,07	23,20	23,34	23,48	23,62
25	23,76	23,91	24,05	24,19	24,34	24,48	24,63	24,77	24,92	25,00

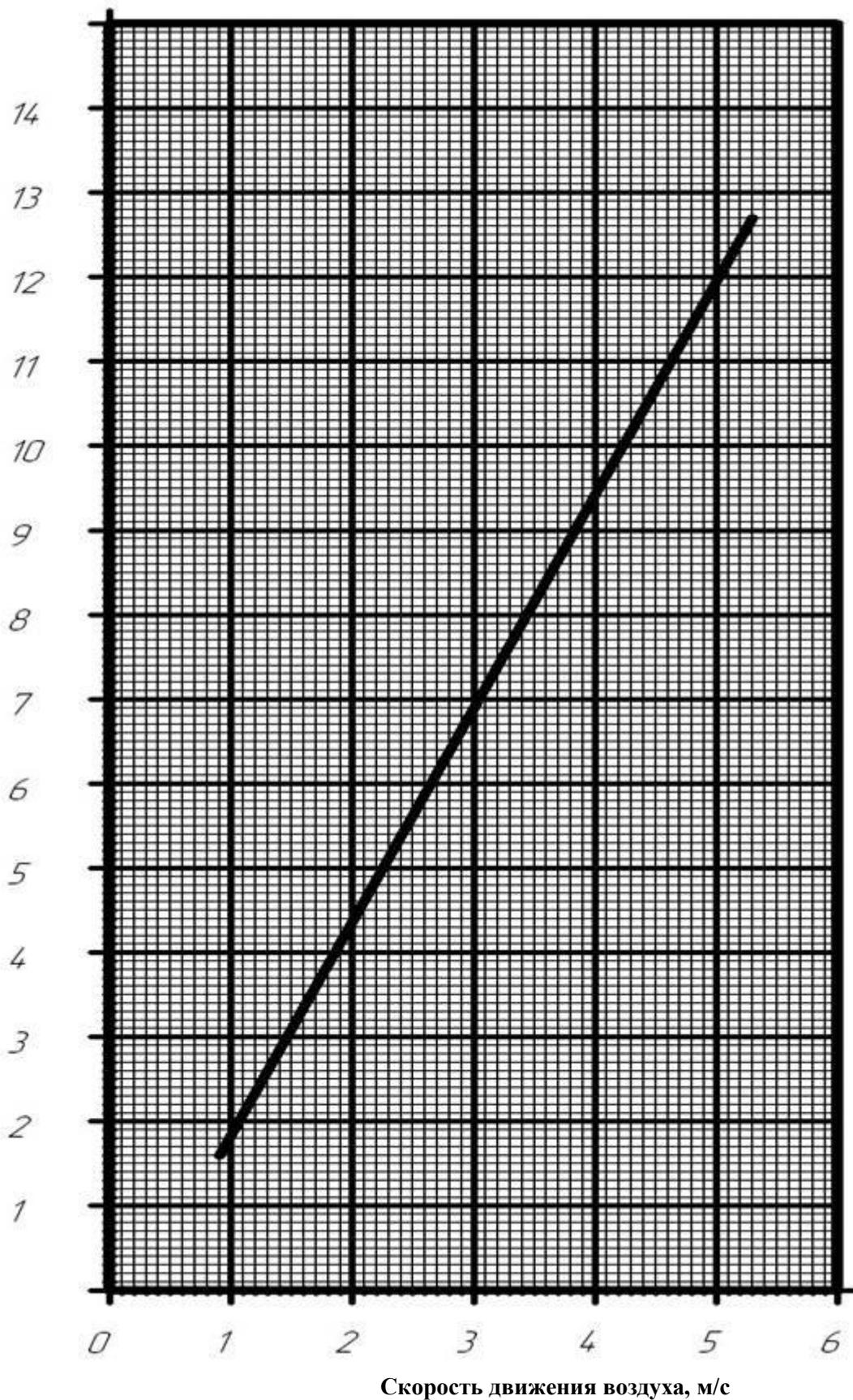
**6. Оптимальные и допустимые показатели микроклимата на рабочих местах
производственных помещений**

Сезон года	Категория работ	Нормы на постоянных рабочих местах					
		оптимальные			допустимые		
		Температура °С	Относительная влажность	Скорость движения воздуха, м/с, не более	Температура °С	Относительная влажность %	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Холодный период года	Легкая-I	20-23	60-40	0,1	19-25	75	0,1
	Средней тяжести-IIа	18-20	60-40	0,2	17-23	75	0,2
	Средней тяжести-IIб	17-19	60-40	0,2	15-21	75	0,2
	Тяжелая-III	16-18	60-40	0,3	13-19	75	0,3
Теплый период года	Легкая-I	22-25	60-40	0,1	19-25	75	0,1
	Средней тяжести-IIа	21-23	60-40	0,2	17-23	75	0,1
	Средней тяжести-IIб	20-22	60-40	0,2	15-21	75	0,2
	Тяжелая-III	18-21	60-40	0,3	13-19	75	0,3



Скорость движения воздуха, м/с

**7. График перевода показаний счетчика крыльчатого анемометра
в показания скорости движения воздуха**



8. График перевода показаний счетчика чашечного анемометра в показания скорости движения воздуха

9. Требования к освещению помещений жилых и общественных зданий

Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования KEO и освещенность (Г-горизонтальная, В-вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение		
		$KEO e_n, \%$		$KEO e_n, \%$		Освещенность, лк		
		при верхнем или комбинир. освещ.	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при комбинированном освещении		при общем освещении
всего	от общего							
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Классные комнаты, кабинеты, аудитории общеобразовательных школ, школ интернатов, среднеспециальных и профессионально-технических учреждений, лаборатории, учебные кабинеты физики, химии, биологии и прочие	Рабочие столы и парты: Г-0,8	4,0	1,5	2,1	1,3	300 (500) ²	40	10
	Середина доски: В-1,51)	-	-	-	-	500	-	10
2. Аудитории, учебные кабинеты, лаборатории в техникумах и высших учебных заведениях	Г-0,8	3,5	1,2	2,1	0,7	400	40	10
3. Кабинеты информатики и вычислительной техники	Г-0,8	3,5	1,2	2,1	0,7	400	15	10
	Экран дисплея: В-1	-	-	-	-	-	-	200
4. Учебные кабинеты технического черчения и рисования	Г-0,8	4,0	1,5	2,1	1,3	500	40	10
	Рабочие, чертежные доски, рабочие столы	-	-	-	-	500	40	10
5. Лаборантские при учебных кабинетах	Г-0,8	3,5	1,2	2,1	0,7	400	15	10

10. Нормативы освещенности офисных и жилых помещений по СНиП

Типы офисных помещений	Норма освещенности согласно СНиП, Лк	Типы жилых помещений	Норма освещенности согласно СНиП, Лк
Офис общего назначения с использованием компьютеров	300	Жилая комната, кухня	150
Офис, в котором осуществляются чертежные работы	500	Детская комната	200
Зал для конференций, переговорная комната	200	Ванная комната, санузел, душевая, квартирные коридоры и холлы	50
Эскалатор, лестница	50-100	Гардеробная	75
Холл, коридор	50-75	Кабинет, библиотека	300
Архив	75	Лестница	20
Подсобные помещения, кладовая	50	Сауна, бассейн	100

ЛИТЕРАТУРА

1. Блохина М.Е., Эссаулова И.А., Мансурова Г.В. Руководство к лабораторным работам по медицинской и биологической физике. М.: Дрофа, 2003.
2. Владимиров Ю.А. и др. Биофизика. М.: Медицина, 1983.
3. Выродов Д.А., Жужа Е.Д. Учебное пособие по физике с основами биофизики. Тирасполь, РИО ПГУ, 1999.
4. Глебова Е.В. Производственная санитария и гигиена труда. Учеб. пособие для вузов. М.: «ИКФ «Каталог», 2003.
5. Грабовский Р.И. Курс физики: учебник. – 6-е. изд. – СПб.: Лань, 2002.
6. Жужа Е.Д., Косюк В.В., Рогожникова О.А., Шевченко С.Л. Физика: лабораторный практикум. Часть 1. – Тирасполь: Изд. в авторской редакции, 2014.
7. Ливенцев Н.М. Курс физики. М.: Высшая школа, 1978.
8. Ремизов А.Р. Медицинская и биологическая физика. М.: Высшая школа, 1987, 1996, 1999.
9. Савельев И.В. Курс физики: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по техн. и технолог. направлениям и специальностям: в 3 т. Т. 1. Механика. Молекулярная физика. – 3-е изд., стереотип. – СПб.: Лань, 2007.
10. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. М.: Наука, 2009.