



С. Х. Карпенков

**Экология
Практикум**

С. Х. КАРПЕНКОВ

ЭКОЛОГИЯ

ПРАКТИКУМ

Рекомендовано Министерством образования и науки
Российской Федерации в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений



Москва-Берлин

2014

УДК 50
ББК 20
К 26

Книги автора удостоены премии
Правительства Российской Федерации 2007 года
в области образования

Рецензенты:

В.А. Шахнов, член-кор. РАН, лауреат Государственной
премии СССР и премии Правительства Российской Федерации
в области науки и техники, д-р техн. наук, проф.,
заведующий кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Б.И. Садовников, лауреат Государственной премии СССР, заведующий
отделением физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова,
д-р ф.-м. наук, проф.

Карпенков С.Х.

К 26 Экология. Практикум: Учеб. пособие /С. Х. Карпенков. –
М.-Берлин: Директ-Медиа, 2014. – 442 с.: ил.

ISBN 978-5-4458-8872-7

Учебное пособие состоит из двух частей. В первую часть включены лабораторный практикум, содержащий описание 14 лабораторных работ, вопросы и темы для обсуждения на семинарских занятиях, тесты для самоконтроля знаний. Во второй части представлены справочные сведения по всем разделам экологии и примерная программа изучаемого курса.

За основу учебного пособия взят учебник автора «Экология».

Предназначено для студентов высших учебных заведений. Может быть интересно и полезно широкому кругу читателей.

УДК 50
ББК 20

ISBN 978-5-4458-8872-7

© Карпенков С.Х., текст, 2014

© Издательство «Директ-Медиа»,
оформление, 2014

Содержание

Предисловие	6
Часть I. ПРАКТИКУМ И СЕМИНАРСКИЕ ЗАНЯТИЯ	8
1. Лабораторный практикум	8
1.1. Экспериментальные измерения	8
Общие сведения	8
Ошибки измерений	9
Измерительные приборы	12
Обработка результатов измерений	15
Контрольные вопросы	21
Задачи	22
1.2. Лабораторные работы	24
Выполнение и оформление лабораторных работ	24
Лабораторная работа № 1. Определение линейных размеров	28
Лабораторная работа № 2. Определение плотности вещества	36
Лабораторная работа № 3. Измерение концентрации кислорода	41
Лабораторная работа № 4. Измерение концентрации диоксида углерода	47
Лабораторная работа № 5. Измерение концентрации угарного газа	52
Лабораторная работа № 6. Измерение концентрации диоксида серы	56
Лабораторная работа № 7. Измерение концентрации диоксида азота	62
Лабораторная работа № 8. Изучение периодических процессов	66
Лабораторная работа № 9. Измерение уровня шума	79
Лабораторная работа № 10. Изучение гравитационного поля	86
Лабораторная работа № 11. Изучение магнитного поля Земли	93
Лабораторная работа № 12. Измерение электромагнитного фона	104
Лабораторная работа № 13. Измерение освещенности	113
Лабораторная работа № 14. Измерение радиационного фона	120
1.3. Компьютерный практикум	134
2. Семинарские занятия	141
2.1. Знания о природе и современный мир	141
2.2. Развитие цивилизации и пределы роста	153
2.3. Фундаментальные знания о природе	164
2.4. Организация живой материи	177
2.5. Объекты познания экологии	194
2.6. Народонаселение и природные ресурсы	212
2.7. Энергетические ресурсы	233
2.8. Загрязнение окружающей среды	247

2.9. Глобальные проблемы экологии	262
2.10. Гармония природы и человека	274
Часть II. СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ	294
3. Фундаментальные постоянные и физические величины	294
3.1. Универсальные физические постоянные	294
3.2. Международная система единиц (СИ)	295
3.3. Приставки и множители кратных и дольных единиц	296
3.4. Единицы логарифмических единиц	296
3.5. Единицы, применяемые в разных областях	296
3.6. Единицы, применяемые в специальных областях	297
3.7. Соотношения единиц СИ и других единиц.	298
3.8. Неметрические русские единицы	300
3.9. Фундаментальные взаимодействия	301
4. Пространство и время	301
4.1. Производные единицы пространства и времени	301
4.2. Характеристика времени.	302
4.3. Единицы измерения времени	302
4.4. Счисление времени	304
4.5. Пространственно-временные характеристики.	305
5. Объекты микро- и макромира	307
5.1. Химические элементы	307
5.2. Неорганические соединения	311
5.3. Кислоты и их соли	312
5.4. Органические соединения	313
5.5. Свойства материальных объектов	315
5.6. Тепловые свойства вещества	317
5.7. Характеристики звука	323
5.8. Электрические свойства	324
5.9. Электромагнитные и оптические свойства	326
5.10. Объекты микромира	328
6. Эволюция и структура Вселенной	331
6.1. Основные космологические характеристики	331
6.2. Млечный Путь	332
7. Солнечная система	333
7.1. Основные характеристики Солнца	333
7.2. Зодиакальные созвездия	334
7.3. Атмосфера Солнца	335
7.4. Солнечный ветер	335

8. Планета Земля	336
8.1. Основные характеристики Земли.	336
8.2. Земная кора	336
8.3. Минералы	337
8.4. Части света, материки и океаны	340
8.5. Рельеф, пустыни и пещеры	341
8.6. Архипелаги, острова и полуострова	345
8.7. Важнейшие моря	350
8.8. Реки, озера и водопады	353
8.9. Атмосфера.	358
8.10. Природные катастрофы.	364
9. Живая природа	368
9.1. Общая характеристика	368
9.2. Растения и грибы	371
9.3. Животные	378
9.4. Хордовые	381
9.5. Млекопитающие	385
9.6. Приматы	389
9.7. Хромосомы и дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК)	393
9.8. Особенности растительного мира	395
9.9. Грибы	401
9.10. Характеристика животных	403
9.11. Домашние животные	416
9.12. Некоторые животные Красной книги	417
9.13. Вымершие животные	419
9.14. Охраняемые территории мира.	421
9.15. Животные и растения в государственных символах	425
9.16. Национальные птицы.	426
9.17. Организм человека	427
Рабочая программа курса «Экология»	432
Литература	441

Знания, не рожденные опытом,
матерью всякой достоверности,
бесплодны и полны ошибок.

Леонардо да Винчи

Предисловие

В последнее время экология как наука о взаимодействии объектов живой и неживой материи и его последствиях все больше и больше отражает практически значимые проблемы, решение которых основано на многочисленных опытах, включающих измерение концентраций вредных веществ, предельно допустимых уровней шума, электромагнитного излучения, радиационного фона и т.п. В связи с этим практические знания экологии особенно важны: они позволяют количественно оценить состояние окружающей среды и ее воздействие на живую природу. В основе такой оценки лежат экспериментальные измерения.

Процесс изучения многих учебных дисциплин, формирующих фундаментальные профессиональные, обычно включает две формы аудиторных занятий: лекции и практические занятия. Лекции как устное систематическое изложение учебного материала помогают студентам самостоятельно изучить предмет по учебникам и учебным пособиям. Однако такое изучение дает в основном теоретические знания. Знания изучаемого предмета существенно дополняются и углубляются на практических занятиях.

Опыт постижения знаний во многих отраслях науки показывает, что любой по сложности теоретический материал гораздо легче воспринимается и усваивается на практических занятиях, включающих лабораторный практикум и семинары.

Предлагаемое учебное пособие содержит описания лабораторных работ, при выполнении которых предоставляется возможность с помощью чувствительных приборов измерить концентрации некоторых газов, входящих в состав атмосферы, определить уровни шума, электромагнитного и радиаци-

онного фона и сравнить их с предельно допустимыми нормами. Практикум включает, кроме того, вопросы и темы для обсуждения на семинарских занятиях, развернутые тесты с разными вариантами ответов и важнейшие справочные сведения по всем разделам изучаемой дисциплины.

Содержание и структура практикума соответствуют базовым книгам автора: «Экология» (М.: Логос, 2014), «Концепции современного естествознания. Изд. 12-е» (М.: Директ-Медиа, 2014).

Учебники и учебные пособия автора удостоены высокой государственной награды — премии Правительства Российской Федерации 2007 года в области образования.

Книга предназначена для студентов высших учебных заведений дневной, вечерней и заочной форм обучения разных направлений и специальностей, а также для изучения экологии в бакалавриате, магистратуре и может быть интересна и полезна широкому кругу читателей.

Автор

ПРАКТИКУМ И СЕМИНАРСКИЕ ЗАНЯТИЯ

1. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

1.1. Экспериментальные измерения

Общие сведения

Любому материальному объекту присущи вполне определенные свойства, большинство из которых характеризуется численными величинами. Например, для куска медного провода можно определить следующие величины: диаметр, длину, массу, электропроводность, температурный коэффициент расширения, электрическое сопротивление и др. Некоторые свойства объектов и явления природы труднее поддаются количественному описанию.

Для определения численного значения какого-либо параметра необходимо знать, во сколько раз оно больше или меньше эталонной величины. Операцию сравнения определяемой величины для исследуемого объекта с соответствующей величиной эталона называют *измерением*.

Например, за единицу длины принят эталонный метр — определенное расстояние между штрихами, нанесенными на стержне из особо стойкого сплава. При измерении массы некоторого тела устанавливается, во сколько раз она больше или меньше массы эталонного образца в один килограмм. Разумеется, очень редко пользуются сравнением измеряемых величин с величинами эталонов, хранящихся в государственных метрологических учреждениях. В основном используют различного рода измерительные устройства и приборы, сверенные с эталонами. Это относится в одинаковой мере как к устройствам и приборам для измерения длины (различные линейки, микрометры, измерительные микроскопы и т. п.), так и к измерителям времени, массы, а также к электроизмерительным, оптическим и многим другим приборам.

Принято различать два вида экспериментальных измерений — прямые и косвенные. При прямом измерении определяемая величина сравнивается с единицей измерения непосредственно при помощи прибора. Измерения длины рулеткой либо штангенциркулем, промежутков времени секундомером, силы тока амперметром и т.п. — все это прямые измерения.

При *косвенном* измерении определяемая величина вычисляется по формуле, включающей результаты прямых измерений. К косвенным измерениям относятся, например, определение площади прямоугольника по измеренным двум его сторонам, определение сопротивления участка цепи по силе тока и напряжению, определение концентрации примесей и др.

Независимо от способа измерения определение той или иной физической величины сопровождается ошибкой, показывающей, насколько искомая величина отличается от ее истинного значения.

Ошибки измерений

Никакое измерение нельзя выполнить абсолютно точно. Другими словами, при измерении какой-либо величины любым способом абсолютное значение ее недостижимо, а это означает, что результат измерения содержит некоторую погрешность — ошибку измерений. Такой вывод следует из одного из положений теории естественно-научного познания окружающего мира — любое научное знание относительно. Ограниченные возможности измерительных приборов, несовершенство органов чувств, неоднородность

исследуемых объектов, внешние и внутренние факторы, влияющие на объекты — вот основные причины относительности измеряемой величины.

Точность измерений возрастает по мере увеличения чувствительности и разрешающей способности измерительных приборов. Однако нельзя получить ошибку измерений меньше ошибки измерительного прибора даже при многократных измерениях. Например, если линейка позволяет измерить длину с относительной ошибкой 0,1 %, что соответствует 1 мм линейки длиной 1 м, то, применяя ее для измерения

длины любых объектов, нельзя определить длину с ошибкой, меньшей 0,1 %. Абсолютное значение какой-либо физической величины является идеальным, недостижимым на практике. Чем точнее поставлен эксперимент, чем совершеннее измерительная техника, тем ближе измеряемая величина к абсолютной. Одна из важных задач экспериментатора — приблизить полученные экспериментальные данные к их абсолютным величинам.

В зависимости от причин, обуславливающих ошибки, различают систематические, случайные и приборные ошибки. К ним не относятся грубые ошибки, вызванные невниманием при снятии показаний приборов, неправильной записью измеряемых данных, ошибками при вычислениях и т.п. Такие ошибки не подчиняются какому-либо закону и устраняются при промежуточной оценке результатов измерений.

Систематические ошибки возникают при многократных измерениях и обуславливаются неисправностью приборов, неточностью методов измерений и использованием для расчетов неточных данных. Если, например, стрелка амперметра изогнута или смещен «нуль» прибора, то результаты измерений всегда будут ошибочными. Сколько бы раз ни проводились измерения, как бы тщательно ни записывались показания прибора, в измерениях будет одна и та же ошибка. Для устранения систематической ошибки, вызванной неисправностью прибора, необходимо ввести соответствующие поправки, полученные при сравнении показаний неисправного и исправного приборов. Систематическая ошибка увеличивает или уменьшает результат измерений на одну и ту же величину. Следовательно, даже полное совпадение ряда измеренных величин не является признаком отсутствия систематической ошибки — ее нельзя выявить при повторных измерениях.

Специфику систематических ошибок, обусловленных методом измерений, можно пояснить на примере определения электрического сопротивления, при котором возникает ошибка, вызванная электрическим сопротивлением соединительных проводов в цепи измерительной схемы. Чтобы ее устранить, нужно ввести поправки на неучтенное сопротивление.

Для устранения систематических ошибок требуется тщательная проверка всех измерительных приборов и кропотливый анализ методов измерений.

Случайные ошибки возникают случайно при совокупном действии многих факторов и остаются при устранении грубых и систематических ошибок. Можно назвать многочисленные объективные и субъективные причины случайных ошибок: изменение напряжения в сети при электрических измерениях, неоднородность вещества при определении плотности, изменение условий окружающей среды (температуры, давления) и др. Подобные причины приводят к тому, что несколько измерений одной и той же величины дают различные результаты. К случайным ошибкам относятся и те, причины которых неизвестны или неясны.

Вследствие непредсказуемых обстоятельств случайные ошибки могут как увеличивать, так и уменьшать значения измеряемой величины. Обычно случайные ошибки не устраняются — их нельзя избежать в каждом из результатов измерений.

Случайные ошибки описываются теорией вероятностей, с помощью которой можно уменьшить влияние случайных ошибок на результат эксперимента. Широко известен нормальный закон распределения случайных ошибок (закон Гаусса). Из него следуют важные выводы:

- малые по модулю ошибки появляются чаще;
- равные по модулю случайные ошибки разных знаков встречаются одинаково часто;
- с увеличением точности (уменьшением интервала разброса измеренных значений) плотность случайных ошибок возрастает.

Теория случайных ошибок позволяет определить наиболее вероятные значения измеряемых величин и возможные отклонения от них. Однако выводы теории вероятностей справедливы только для достаточно большого числа случайных событий. Поэтому, строго говоря, применение теории случайных ошибок целесообразно только к сравнительно большому числу измерений. На практике же часто ограничиваются 5–10

измерениями, хотя следует помнить, что увеличение числа измерений уменьшает влияние случайных ошибок. В каждом конкретном случае для получения заданной точности устанавливается необходимое число измерений.

Приборные ошибки обуславливаются конструктивными особенностями измерительных приборов. Приборную ошибку называют точностью измерительного прибора. По величине ошибок, которые могут вносить при измерении электроизмерительные приборы, различают семь классов точности приборов, которые обозначаются цифрами: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. *Цифра класса точности показывает величину относительной ошибки в процентах при отклонении стрелки прибора до последнего деления шкалы.* Абсолютная ошибка прибора при любом отклонении стрелки одинакова. Поэтому при меньших отклонениях стрелки относительная ошибка больше. Например, если у прибора класса точности 0,5 вся шкала содержит 150 делений, то относительная ошибка при отклонении на все 150 делений составляет 0,5 %, а абсолютная ошибка равна 0,75 деления. При отклонении стрелки на 25 делений абсолютная ошибка та же — 0,75 деления, а относительная ошибка — 3 %. Для получения возможно меньших относительных ошибок при пользовании измерительными приборами необходимо добиваться большего отклонения стрелки. Для этого нужно выбирать прибор высокой чувствительности или переходить к меньшим пределам измерений многопредельного прибора.

Измерительные приборы

Большинство приборов для измерения разных физических величин содержит линейные, угловые или круговые шкалы. Показание того или иного прибора соответствует длине отрезков прямой или дуги. Чем точнее прибор, тем больше число делений, на которые разбита шкала. Для одной и той же шкалы с увеличением числа делений расстояние между штрихами уменьшается.

В некоторых приборах для повышения точности измерений применяют различные приспособления, позволяющие

отсчитывать доли деления шкалы. Наиболее широко распространены нониусы и микрометрические винты. Их обычно применяют в приборах для измерения длины или угла, в которых части прибора перемещаются относительно друг друга. На одной из частей наносится основная шкала, а на другой — нониус, представляющий собой небольшую дополнительную шкалу, передвигающуюся при измерении вдоль основной шкалы. Удобство отсчета с применением нониуса заключается в том, что легче различить, является ли один штрих продолжением другого или они сдвинуты друг относительно друга.

Иногда для отсчета долей деления применяется специальный циферблат, указатель которого связан с механической передачей. В современных оптических приборах наносятся микроскопические цифры около каждого штриха шкалы, и показания отсчетов снимаются при помощи отсчетного микроскопа, в поле зрения которого видна только одна цифра и дополнительная шкала для отсчета долей деления.

Для измерения небольших линейных размеров наиболее часто применяются штангенциркуль и микрометр. Размеры от 3 до 5 мм удобно определять измерительным микроскопом.

Современные технические средства позволяют определить минимальное расстояние, примерно равное 10^{-18} м. Максимальное расстояние, доступное современным измерениям, составляет около 10^{26} м (такому расстоянию соответствует радиус космологического горизонта).

В экспериментальной работе для измерения малых промежутков времени (до 30 мин) часто применяется секундомер. Цена самого мелкого деления секундной шкалы, например, секундомера СМ-60 равна 0,2 с. В настоящее время широко применяются электронные измерители времени с цифровой индикацией.

В повседневной жизни легко воспринимаются привычные интервалы времени: минута, час, сутки и т. п. В то же время в современном естествознании оперируют и совершенно другими интервалами времени — миллиардами лет при определении возраста Вселенной и ничтожно малыми

долями секунды — 10^{-18} с — для характеристики продолжительности ядерных процессов.

Для измерения электрических величин используются электроизмерительные приборы. Принцип их действия основан на превращении электрической энергии в другие ее виды, например, механическую, тепловую, магнитную и т.д. Каждый электрический прибор состоит из двух основных частей: электрического и отсчетного механизмов. Отсчетный механизм большинства приборов содержит шкалу и указатель, который определяет точку шкалы, соответствующую отсчету измеренной величины. Обычно указатель представляет собой тонкую стрелку или световое пятно. В современных электроизмерительных приборах отсчетным устройством служит электронное табло с цифровой индикацией, очень удобной для снятия показаний прибора.

Электроизмерительные приборы широко применяются и для измерения неэлектрических величин: температуры, давления, скорости движения, освещенности. Принцип действия их основан на регистрации термотоков, фототоков, электромагнитной индукции и т.п.

На практике часто производятся косвенные измерения, основанные на законах или закономерностях, устанавливающих зависимость между различными физическими величинами. Например, электрическое сопротивление проводника можно определить, измерив на нем падение напряжения и силу тока.

Электрические измерения производят двумя способами:

1) сравнением измеряемой величины с ее соответствующими эталонами ЭДС, сопротивления, емкости, индуктивности и др.;

2) с помощью приборов, показывающих численные значения измеряемой величины.

По своему назначению основные электроизмерительные приборы можно классифицировать следующим образом:

- амперметры и миллиамперметры — измерители силы тока;
- вольтметры и милливольтметры — измерители напряжения;

- ваттметры — приборы для измерения электрической мощности;
- счетчики электрической энергии — приборы для измерения электрической энергии;
- омметры — приборы для измерения электрического сопротивления;
- частотомеры — приборы для измерения частоты переменного тока;
- приборы для измерения емкости.

По принципу действия электроизмерительные приборы подразделяются на магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические, тепловые, индукционные, электронные и др.

Одна из основных характеристик электроизмерительного прибора — *чувствительность*, определяемая отношением линейного или углового перемещения указателя к изменению измеряемой величины. Величина, обратная чувствительности, называется ценой деления прибора. Она определяет значение измеряемой величины при отклонении на одно деление.

Обработка результатов измерений

После измерительной операции наступает следующая стадия экспериментальной работы — математическая обработка результатов измерений. Все числа, полученные при измерениях, являются приближенными. Точность измерений нельзя повысить математическими действиями над результатами измерений. Учет большого числа значащих цифр без оценки их достоверности затрудняет вычисления и оказывается бесполезным.

В качестве истинного, наиболее вероятного значения измеряемой величины обычно принимают среднее арифметическое измеренных значений:

$$\langle x \rangle = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (1.1)$$

где x_1, x_2, \dots, x_n — значения измеренной величины; n — число измерений.

После расчета среднего арифметического значения измеряемой величины приступают к определению абсолютной и относительной ошибок измерений.

Абсолютное значение разности между средним арифметическим $\langle x \rangle$ и каждым отдельным результатом измерений называют *абсолютной ошибкой отдельного измерения* и обозначают

$$\Delta x_i = | \langle x \rangle - x_i |.$$

Часто *среднюю абсолютную ошибку* определяют как среднее арифметическое абсолютных ошибок отдельных измерений, т. е.

$$\langle \Delta x \rangle = \frac{|\Delta x_1| + |\Delta x_2| + \dots + |\Delta x_n|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta x_i|}{n}.$$

Абсолютная ошибка указывает два значения измеряемой величины, между которыми заключено ее истинное значение. Например, в результате измерений и последующих вычислений диаметра проволоки получим:

$$\langle d \rangle = 2,4 \text{ мм и } \langle \Delta d \rangle = \pm 0,1 \text{ мм.}$$

Это означает, что истинное значение диаметра проволоки находится в интервале между 2,3 и 2,5 мм.

Можно уменьшить абсолютную ошибку и, следовательно, уменьшить интервал, в котором находится истинное значение измеряемой величины, но абсолютная ошибка не может быть равной нулю.

Для полной характеристики точности измерений рассчитывают относительную ошибку, равную отношению средней абсолютной ошибки к среднему результату измерений:

$$E = \frac{\langle \Delta x \rangle}{\langle x \rangle}.$$

Если выполнено достаточно большое число измерений и результаты подчиняются закону статистического распределения, то вместо средней абсолютной ошибки определяют *квадратичную ошибку*

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2 / n(n-1)} .$$

Относительная ошибка в данном случае

$$E_s = \frac{S}{\langle x \rangle} .$$

Относительная ошибка — безразмерная величина. Ее часто выражают в процентах, для чего безразмерную величину надо умножить на 100 %.

Если необходимо учитывать как приборную (δ), так и случайную (S_x) ошибки, то *полная абсолютная ошибка* среднего значения измеренной величины

$$\Delta x = \sqrt{\delta^2 + S_x^2} .$$

Если одна из данных ошибок меньше другой в 4 и более раза, то ее в окончательном результате можно не учитывать.

Для косвенных измерений, когда определяемая величина получается путем вычислений по известной формуле, ошибки в простейших случаях находят следующим образом.

Если определяемая величина A связана с непосредственно измеряемыми величинами B и C выражением

$$A = BC,$$

то относительная ошибка величины A равна сумме относительных ошибок величин B и C , т.е.

$$E = \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C}{C} ,$$

а абсолютная ошибка

$$\Delta A = EA.$$

Относительные ошибки складываются и при делении двух измеряемых величин.

Если же определяемая величина A равна сумме или разности измеряемых величин B и C , т.е. если

$$A = B \pm C,$$

то абсолютная ошибка A равна сумме абсолютных ошибок B и C :

$$\Delta A = \Delta B + \Delta C.$$

Относительная ошибка в данном случае

$$E = \Delta A / A.$$

Окончательный результат измерений обычно записывают в стандартной форме, удобной для анализа:

- сначала записывают название определяемой физической величины;

- затем записывают буквенный символ определяемой величины, знак равенства и в скобках ее среднее значение плюс-минус средняя абсолютная ошибка, а за скобкой указывают единицу измерения;

- отдельно записывают значение относительной ошибки в процентах;

- окончательные результаты заключают в общую рамку.

Среднее значение, полную абсолютную ошибку и относительную ошибку округляют по следующим правилам:

- сначала округляют до одной или двух значащих цифр среднюю абсолютную ошибку (если старшая цифра больше 4, оставляют одну значащую цифру, в остальных случаях — две);

- затем округляют среднее значение до разряда, совпадающего с младшим разрядом абсолютной ошибки;
- относительную ошибку записывают в процентах с точностью до двух значащих цифр.

Например, запись окончательного результата определения объема цилиндрического тела имеет вид:

Объем цилиндрического тела

$$V = (10,43 \pm 0,25) \text{ см}^3;$$

$$E = 2,4 \%$$

При совпадении двух результатов, т.е. при установлении их равенства, когда указаны абсолютные ошибки, удобно пользоваться следующим правилом определения наличия систематической ошибки: если модуль разности средних значений двух измеренных величин не превышает суммы их абсолютных ошибок, сравниваемые величины можно считать равными или совпадающими в пределах ошибок измерений. В противном случае данные величины считаются неравными или несовпадающими. При таком сравнении в пределах указанных ошибок, если измеренная величина не совпадает, например с табличной (более точной), можно говорить о наличии в измерениях систематической ошибки.

Рассмотрим два характерных примера решения простейших задач определения ошибки измерений.

Пример 1. При измерении периода колебаний маятника были получены следующие результаты: $T_1 = 3,1$; $T_2 = 3,2$; $T_3 = 3,0$; $T_4 = 3,5$; $T_5 = 3,3$; $T_6 = 3,2$ с. Определить квадратичную ошибку периода, относительную ошибку и представить окончательный результат в стандартной форме.

Р е ш е н и е. Сначала находим среднее значение периода:

$$\langle T \rangle = (3,1 + 3,2 + 3,0 + 3,5 + 3,3 + 3,2) / 6 = 3,21(6) \approx 3,22 \text{ с.}$$

Округление промежуточного результата произведено до трех значащих цифр.

Далее по формуле

$$\Delta T_i = |\langle T \rangle - T_i|$$

вычисляем абсолютные ошибки отдельных измерений:

$$\Delta T_1 = |3,22 - 3,1| = 0,12; \quad \Delta T_2 = |3,22 - 3,2| = 0,02;$$

$$\Delta T_3 = |3,22 - 3,0| = 0,22; \quad \Delta T_4 = |3,22 - 3,5| = 0,28;$$

$$\Delta T_5 = |3,22 - 3,3| = 0,08; \quad \Delta T_6 = |3,22 - 3,2| = 0,02 \text{ с.}$$

Затем находим квадратичную ошибку периода

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta T_i)^2 / n(n-1)} =$$

$$= \sqrt{(0,12^2 + 0,02^2 + 0,22^2 + 0,28^2 + 0,08^2 + 0,02^2) / 30} = 0,0703 \text{ с.}$$

Вычисляем относительную ошибку среднего значения периода:

$$E = 0,0703 \cdot 100 \% / 3,22 = 2,18 \%.$$

В окончательном результате величину S округляем до одной значащей цифры (поскольку старшая значащая цифра равна 7), среднее значение периода — до разряда округленной величины S , т.е. до сотых долей, а относительную ошибку — до двух значащих цифр.

С учетом абсолютной и относительной ошибок конечный результат записывается в виде:

Период колебаний маятника

$$T = (3,22 \pm 0,07) \text{ с};$$

$$E = 2,2 \%$$

Пример 2. Равны ли в пределах ошибок измерений определяемое значение плотности жидкости ρ и ее табличное значение ρ_T , если $\rho = (0,9567 \pm 0,0003) \text{ г/см}^3$; $\rho_T = (0,9561 \pm 0,0001) \text{ г/см}^3$? Имеется ли систематическая ошибка при определении плотности?

Решение. Сумма абсолютных ошибок определенного в результате измерений и табличного значений плотности

составляет $0,0004 \text{ г/см}^3$. Эта сумма меньше разности по модулю их средних значений, равной $0,0006 \text{ г/см}^3$. Следовательно, данные результаты нельзя считать равными в пределах ошибок измерений. Так как $\rho > \rho_T$, то в измерениях допущена систематическая ошибка, которая привела к завышенному результату по сравнению с табличным.

Ответ. Значения плотности ρ и ρ_T в пределах ошибок измерений не равны; при измерении ρ допущена систематическая ошибка.

Контрольные вопросы

1. Назовите свойства материальных объектов, поддающиеся количественному описанию.
2. Что называется измерением?
3. Чем обуславливается невозможность выполнения абсолютно точных измерений?
4. Как зависит точность измерений от чувствительности прибора?
5. Определение плотности вещества относится к прямым или косвенным измерениям?
6. Что обычно принимают за истинное значение измеряемой величины?
7. Какие ошибки измерений различают в зависимости от порождающих их причин?
8. Назовите два вида ошибок для оценки истинности измеряемой величины.
9. Какова специфика грубых ошибок?
10. Дайте краткую характеристику систематических ошибок.
11. Как устраняется систематическая ошибка?
12. Какие факторы обуславливают случайные ошибки?
13. Назовите основные следствия из нормального закона распределения случайных ошибок.
14. Что означает класс точности прибора?
15. Остается ли абсолютная ошибка прибора неизменной для разных его показаний?
16. Для чего применяются нониусы и микрометрические винты?

17. Какие минимальные и максимальные расстояния позволяют определить современные измерительные средства?

18. На чем основан принцип работы электроизмерительных приборов?

19. Применяются ли электроизмерительные приборы для измерения неэлектрических величин?

20. Назовите два основных способа электрических измерений.

21. Как классифицируются электроизмерительные приборы по назначению?

22. Что такое чувствительность прибора?

23. Как округляются приближенные числа.

24. Как определяется наиболее вероятное значение измеряемой величины?

25. Дайте определение средней абсолютной ошибки.

26. Как определяется квадратичная ошибка?

27. Что такое относительная ошибка?

28. Как определяются абсолютная и относительная ошибки для простейших косвенных измерений?

29. Сформулируйте правила округления окончательных результатов измерений.

30. Приведите пример записи окончательного результата измерений.

31. Как определяется наличие систематической ошибки в измерениях.

Задачи

1. Измерение длины сторон детали в форме прямоугольного параллелепипеда производилось штангенциркулем с точностью 0,1 мм; результаты измерений: 12,6; 15,3 и 18,7 мм. Определите объем детали, абсолютную и относительную ошибки. Окончательный результат запишите в стандартной форме с учетом правил округления.

2. Чему равны абсолютные ошибки отдельных измерений и квадратичная ошибка значения величины A , если при ее измерении были получены следующие результаты: 38,21; 39,11; 37,98; 38,52; 39,32; 37,94; 37,09 с? Какую физическую величину представляет A ?

3. Результаты измерений диаметра диска составляют 42,4; 42,6; 42,8; 42,7; 41,9; 41,8; 42,0 мм. Чему равна площадь диска? Ответ запишите в стандартной форме с учетом правил округления, абсолютной и относительной ошибок.

4. После округления получены следующие результаты измерений: $A = (12,3 \pm 0,2)$ с; $B = (21,3 \pm 0,4)$ мм; $C = (832 \pm 6)$ г. Чему равны относительные ошибки данных результатов? Какие физические величины представляют A , B и C ?

5. Масса тела составляет $(64,2 \pm 0,3)$ г, а его объем $(148,2 \pm 0,3)$ мм³. Найти плотность вещества тела, относительную и абсолютную ошибки определения плотности.

6. Определите квадратичную ошибку и относительную ошибку измерений величины A , если ее среднее значение и абсолютные ошибки отдельных измерений составляют соответственно:

$$\langle A \rangle = 1150,3; \Delta A_1 = 2,4; \Delta A_2 = 1,8; \Delta A_3 = 0,8;$$

$$\Delta A_4 = 1,5; \Delta A_5 = 1,1; \Delta A_6 = 2,1; \Delta A_7 = 1,9; \Delta A_8 = 2,0 \text{ г.}$$

7. Класс точности прибора равен 1,5. Какова абсолютная ошибка измерений данным прибором, если вся шкала прибора содержит 100 делений, а цена деления 0,1 А.

8. Рассчитать абсолютные и относительные ошибки отдельных измерений величины A , если при ее измерении были получены следующие значения: 2,1; 2,3; 2,0; 2,4 и 2,2 с.

9. Какова относительная ошибка измерений прибором класса точности 1,0 при отклонении стрелки на 10 делений, если вся шкала прибора содержит 200 делений?

10. Чему равны абсолютные ошибки отдельных измерений и относительная ошибка измерений величины A , если результаты измерений: 230; 228; 232; 233; 235; 229 Н? Какую физическую величину представляет A ?

11. Величины A , B и C связаны между собой соотношением $A = BC$, где $B = (0,96 \pm 0,04)$ Н и $C = (1,6 \pm 0,5)$ м. Рассчитать значение A , его абсолютную и относительную ошибки и представить окончательный результат в стандартной форме с учетом правил округления.

12. Величины A , B и C связаны соотношением $A = B + C$, где $B = (8,53 \pm 0,02)$ Дж и $C = (30,7 \pm 0,3)$ Дж. Рассчитать значение A и написать окончательный результат в стандартной форме. Какую физическую величину представляет A ?

13. Случайная или приборная ошибка является определяющей в измерении величины A , если результаты ее измерений равны: 100; 102; 92; 98; 114 с. Приборная ошибка равна 1 с.

14. При определении ускорения свободного падения получен результат $g = (9,82 \pm 0,02)$ м/с². Табличное значение ускорения для данной местности $g_T = (9,84 \pm 0,01)$ м/с². Чему равны относительные ошибки определения g и g_T ? Можно ли утверждать о наличии систематической ошибки при определении g ? Почему?

15. Стоит ли продолжать измерения диаметра проволоки микрометром для получения более точного результата, если измеренные значения равны: 1,38; 1,39; 1,38 и 1,38 мм. Приборная ошибка — 0,01 мм. Чему равна относительная приборная ошибка?

1.2. Лабораторные работы

Выполнение и оформление лабораторных работ

Выполняя лабораторную работу, студенты самостоятельно производят измерения, получают экспериментальные результаты и оценивают их достоверность.

Физическая направленность представленных лабораторных работ обусловлена тем, что с помощью простых измерительных средств можно получить количественные экспериментальные результаты, что гораздо сложнее сделать, например, в химических, биологических и других опытах. Кроме того, многие крупные естественно-научные достижения в области химии, биологии и т.п. получены с применением современных физических экспериментальных методов: спектрального анализа, ядерного магнитного резонанса, рентгеноструктурного анализа, нейтронографии и т.д. Практическая реализа-

ция таких методов в виде лабораторных работ — сложная задача, и ее решение возможно только с применением моделирования и компьютерной техники.

При выполнении лабораторных работ необходимо руководствоваться следующими правилами.

- Лабораторную работу следует выполнять самостоятельно. Только в этом случае она окажется интересной и полезной. Описание лабораторных работ — всего лишь ориентир для самостоятельной работы. Успех определяется главным образом не столько изучением описания работы, сколько сознательным отношением к экспериментальным измерениям.

- Необходимое условие для начала выполнения лабораторной работы — ясное понимание сущности изучаемого объекта.

- Главное условие успешного выполнения измерений — внимательное и неторопливое ознакомление с лабораторной установкой и приборами до начала измерений.

- Работу с приборами следует начинать лишь после изучения инструкции и необходимых мер предосторожности. Не следует вскрывать приборы, прикасаться к оптическим и тонким деталям лабораторных установок. Необходимо бережно обращаться с экспериментальным оборудованием.

- В лабораторных работах, содержащих электрические схемы, источник питания подключают после того, как вся схема тщательно проверена и получен допуск от преподавателя к выполнению измерений. Нарушение этого правила может привести к несчастному случаю.

- Измерения должны производиться с максимальной точностью. Только точные, достоверные результаты позволяют наиболее полно количественно описать изучаемый объект и облегчают их математическую обработку.

- При измерениях следует учесть, что некоторые приборы могут существенно изменить физическое состояние исследуемого объекта. Например, при измерении температуры нагретой жидкости в пробирке с помощью ртутного термометра произойдет охлаждение жидкости и термометр покажет вовсе не ту температуру, которую имела жидкость до измерения.

Более достоверные результаты в этом случае можно получить, например при измерении температуры термпарой.

- Стремясь достоверно описать свойства изучаемого объекта, следует согласовать точность измерений различных величин. Например, даже при больших изменениях температуры изменение длины стержня относительно мало. Поэтому важно измерять изменение длины стержня с максимально достижимой точностью и нет смысла измерять температуру, например до сотых долей градуса.

- В описаниях лабораторных работ обычно указывается приближенное число измерений. Как правило, число измерений устанавливает сам экспериментатор, основываясь на точности приборов и результатах измерений. Если в результатах измерений получен большой разброс, лучше еще раз обратиться к описанию установки, чем продолжать измерения.

- При построении кривой зависимости одной величины от другой плотность числа экспериментальных точек на различных участках кривой выбирается с таким расчетом, чтобы четко изображались изгибы, максимумы и минимумы. На участках плавного хода кривой зависимости плотность точек может быть меньшей.

- Следует стремиться к аккуратности и полноте первичных (черновых) записей при выполнении лабораторных работ. Записи измерений лучше вести в виде таблиц с указанием единиц измеряемых величин. Необходимо записывать точность и чувствительность приборов.

При оформлении лабораторных работ необходимо руководствоваться следующими правилами.

1. Лабораторные работы целесообразнее оформлять в отдельной тетради, на первой странице которой чертится таблица для пометок преподавателя о допуске к лабораторной работе, о выполнении измерений и защите ее.

2. Оформление каждой лабораторной работы лучше начинать на новой странице. Сначала указывают номер лабораторной работы, ее название, дату выполнения. Затем кратко излагают сущность теории, описание лабораторной установки и основное содержание заданий вместе с таблицами для зане-

сения результатов измерений. Желательно нарисовать схему установки. Потом производят запись обработки результатов измерений и окончательного результата в стандартной форме, указанной в п. 1.1.

3. Если в лабораторной работе предусмотрено выполнение графиков, то их следует чертить на миллиметровой бумаге (бумага в клетку для такой цели не совсем подходит). По осям нужно выбрать удобный для нанесения экспериментальных точек масштаб. Кривая на графике проводится таким образом, чтобы были видны отдельные точки, полученные в результате эксперимента. Сначала кривая проводится карандашом, чтобы можно было вносить необходимые поправки при анализе окончательных результатов.

4. При обработке результатов лабораторной работы следует тщательно обдумывать возможные источники ошибок. Сравнивая свои результаты с данными таблиц либо с полученными ранее результатами других студентов, не следует при их несовпадении сразу считать свои результаты ошибочными. В таком случае нужно еще раз продумать методику измерений. При сдаче работы с «плохими» результатами студент после обсуждения с преподавателем часто получает значительно больше пользы, чем при наличии «хороших» результатов.

Порядок выполнения и защиты лабораторных работ.

1. Сначала необходимо изучить описание лабораторной работы и оформить ее в лабораторной тетради, оставляя свободные места для занесения результатов измерений, их обработки и окончательного результата.

2. Перед началом выполнения лабораторной работы следует получить допуск-разрешение от преподавателя на выполнение измерений. Если студент показал знание сущности выполняемой работы и порядка измерений, то преподаватель делает пометку «допуск» в таблице лабораторной тетради.

3. Получив допуск к выполнению работы, студент проводит измерения и заносит их в соответствующие таблицы.

4. Сделав пробный расчет определяемого параметра, студент обязан предъявить результаты измерений преподавателю.

Если результаты приняты, преподаватель делает пометку о выполнении измерений в лабораторной тетради студента.

5. Далее производится обработка результатов эксперимента: вычисляются промежуточные и окончательные данные и заносятся в тетрадь.

6. Лабораторная работа считается полностью выполненной, если она защищена. При защите преподаватель вправе спросить не только о сущности выполненной работы и результатах измерений, но и теоретический материал того раздела, к которому относится защищаемая лабораторная работа. После защиты преподаватель выставляет в тетради студента оценку.

7. Студент, не защитивший две лабораторные работы, к выполнению следующей не допускается.

Лабораторная работа № 1

Определение линейных размеров

Описание измерительных приборов

В лабораторной работе используют масштабную линейку, штангенциркуль, микрометр, деталь цилиндрической формы, кусок проволоки.

В повседневной жизни — в быту, на производстве, в торговле и т. п. — довольно часто прибегают к измерению длины, ширины и толщины различных предметов и деталей, т. е. к определению их линейных размеров. Для простейших измерений широко применяются масштабные линейки, штангенциркули и микрометры.

Масштабная линейка. Для определения линейных размеров в пределах от одного сантиметра до нескольких метров часто используют масштабные линейки и рулетки с сантиметровыми и миллиметровыми делениями. Металлические линейки более прочные и точные, чем деревянные или пластмассовые, которые усыхают с течением времени и легче подвергаются разрушению.

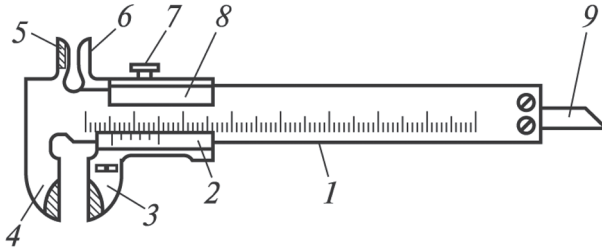


Рис. 1.1

Штангенциркуль. В различных отраслях производства и особенно в машиностроении широко применяется штангенциркуль, позволяющий определить линейные размеры небольших деталей и предметов в пределах от 0 до 20 см с точностью до десятых и сотых долей миллиметра.

Штангенциркуль (рис. 1.1) состоит из жесткой металлической линейки (штанги) 1 с миллиметровыми делениями и подвижной части 8 со штоком, которая может передвигаться вдоль линейки. В линейке и подвижной части имеются выступы 3 — 6 для определения внешних 3, 4 и внутренних 5, 6 размеров деталей. Подвижная часть закрепляется стопорным винтом 7.

На подвижной части штангенциркуля нанесена вспомогательная шкала — линейный нониус с делениями другого масштаба, чем деления основной шкалы (рис. 1.2, а). Нониус позволяет повысить точность измерений в 10 или 20 раз в зависимости от полного числа его делений. Отношение цены деления шкалы основной линейки к числу делений нониуса называют *точностью нониуса*. Точностью нониуса определяется абсолютная ошибка прибора, в котором применяется нониус.

Число делений нониуса большинства модификаций штангенциркулей составляет 10 или 20, что позволяет измерять линейные размеры соответственно с точностью 0,1 или 0,05 мм.



Рис. 1.2

Для определения размера детали, например диаметра детали цилиндрической формы, ее помещают между выступами 3 и 4 штангенциркуля и перемещают подвижную часть 2 до соприкосновения детали с обоими выступами (см. рис. 1.1). Затем снимают показание штангенциркуля. Если нулевой штрих шкалы нониуса совпадает с каким-либо штрихом основной миллиметровой шкалы, то измеряемое расстояние равно целому числу миллиметров основной шкалы до нулевого штриха нониуса. Обычно со штрихом основной шкалы совпадает не нулевой штрих нониуса, а другие. Измеряемое расстояние в этом случае складывается из целого числа миллиметров основной шкалы слева от нулевого штриха и десятых долей миллиметра, число которых равно номеру штриха нониуса, совпадающего с каким-либо штрихом основной шкалы или близко расположенного от него. Например, показание штангенциркуля, представленное на рис. 1.2, б, соответствует 5,4 мм.

С помощью штангенциркуля можно определить внешние и внутренние размеры деталей, например внешний и внутренний диаметры трубок, а также глубину вырезов и отверстий посредством штока 9, длина выдвигающейся части которого равна расстоянию между выступами 4 и 3 штангенциркуля.

Порядок измерений с помощью приборов с линейным нониусом распространяется на приборы с угловым нониусом, которым снабжен, например теодолит.

Микрометр. Этот прибор предназначен для определения внешних размеров небольших предметов и деталей в пределах от 0 до 25мм с точностью до 0,01 мм.

Микрометр (рис. 1.3) состоит из стальной скобы 1 с цилиндрическим упором 2 и подвижного цилиндрического стержня 3 с микрометрическим винтом. Плоскость упора 2 параллельна плоскости стержня 3. Положение подвижного стержня фиксируется стопорным винтом 4. Микрометрический винт вращается внутри неподвижной втулки 5 с внутренней резьбой. Шаг резьбы обычно составляет 0,5 мм. На внешней поверхности втулки нанесена продольная шкала 6, состоящая из двух частей, разделенных горизонтальной линией. Нижняя часть служит для отсчета целого числа миллиметров, а верхняя — для отсчета половинных долей миллиметра. На обеих частях шкалы нанесены штрихи через 1 мм. Штрихи верхней шкалы делят каждый миллиметр нижней шкалы пополам.

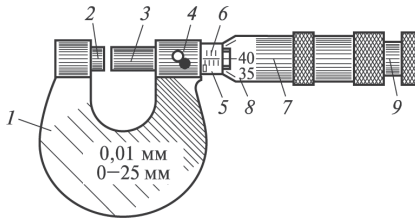


Рис. 1.3

На микрометрический винт насажен удлиненный барабан 7, левая скошенная кромка которого перемещается относительно шкалы на втулке. На кромке барабана нанесена круговая шкала 8, содержащая 50 равных делений. На правом конце винта расположена фрикционная головка с трещоткой 9. Конструкция головки такова, что вращательное движение от трещотки передается винту посредством трения, благодаря чему при достижении определенной силы нажима цилиндрического стержня на упор или на измеряемый предмет дальнейшее вращение прекращается. При одном полном обороте барабан перемещает цилиндрический стержень на 0,5 мм, а поворот барабана на одно деление круговой шкалы соответствует 0,01 мм, т.е. 10 мкм, что и определяет точность прибора.

Перед началом измерений необходимо проверить нулевое положение микрометра, при котором плоскость упора 2 и подвижного стержня 3 соприкасаются друг с другом. Такое соприкосновение обеспечивается вращением по часовой стрелке с помощью фрикционной головки до появления характерного треска трещотки. В нулевом положении настроенного микрометра нулевой штрих круговой шкалы барабана должен находиться против горизонтальной линии на неподвижной втулке. При нарушении нулевого положения микрометр следует настроить, что может сделать только специалист. Если микрометр не настроен при обработке результатов следует учесть систематическую ошибку, вызванную отклонением от нулевого положения.

Во избежание нарушения настройки микрометра вращательное движение барабана следует совершать только с помощью фрикционной головки до появления треска.

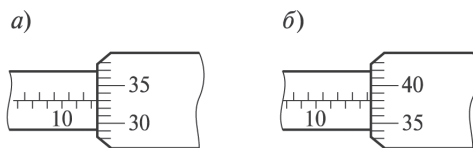


Рис. 1.4

Процедура измерения с помощью микрометра заключается в следующем. Измеряемый предмет помещается между плоскостями цилиндрического упора 2 скобы и подвижного цилиндрического стержня 3. Вращением фрикционной головки до появления треска плоскости упора и подвижного стержня доводятся до соприкосновения с поверхностями измеряемого предмета. Затем снимается показание микрометра. Отсчет производится по нижней линейной шкале на втулке слева от скошенной кромки барабана и по круговой шкале. По нижней линейной шкале отсчитывают число целых миллиметров и их половинные доли, а по круговой шкале — сотые доли миллиметра.

При измерениях возможны два случая:

- скошенная кромка барабана закрывает штрих верхней линейной шкалы, делящей последний миллиметр, отсчитанный по нижней шкале, пополам. В этом случае показания

микрометра складываются из целого числа миллиметров по нижней линейной шкале до кромки барабана и сотых долей миллиметра, отсчитанных по круговой шкале при совпадении ее штриха с горизонтальной линией продольной шкалы. Например, показание микрометра на рис. 1.4, *a* соответствует $12 \text{ мм} + 0,33 \text{ мм} = 12,33 \text{ мм}$;

• кромка барабана находится правее штриха верхней линейной шкалы. К показаниям нижней линейной шкалы и круговой шкалы прибавляется $0,50 \text{ мм}$. Например, на рис. 1.4, *б* показание микрометра — $13 \text{ мм} + 0,38 \text{ мм} + 0,50 \text{ мм} = 13,88 \text{ мм}$.

Задание 1 Измерение диаметра проволоки микрометром

После получения допуска к выполнению лабораторной работы студенты самостоятельно измеряют микрометром диаметр проволоки и затем обрабатывают результаты измерений с учетом правил, изложенных в 1.1.

Проволока слегка деформирована, поэтому для более полного учета случайных ошибок диаметр измеряется не менее 10 раз и в разных местах проволоки.

Результаты измерений заносят в табл. 1, начерченную в лабораторной тетради.

Таблица 1

Номер измерения, <i>i</i>	D_i , мм	ΔD_i , мм	Точность микрометра $\delta = \dots$ мм
1			
2			
3			
...			
Средние значения	$\langle D \rangle = \dots$	$\langle \Delta D \rangle = \dots$	Окончательный результат:
			Диаметр проволоки $D = \langle D \rangle \pm \langle \Delta D \rangle \text{ мм } \Delta E_{\langle D \rangle} = \dots\%$

После измерений вычисляют среднее значение диаметра $\langle D \rangle$ и абсолютные ошибки отдельных измерений:

$$\Delta D_i = |\langle D \rangle - D_i|$$

Промежуточные и окончательные результаты записывают в табл. 1.

Задание 2 Определение объема детали цилиндрической формы

Определение объема цилиндрической детали — пример простейших косвенных измерений. С учетом результатов прямых измерений диаметра D и длины L цилиндрической детали его объем вычисляют по формуле

$$V = \pi D^2 L / 4.$$

Диаметр цилиндрической детали измеряют микрометром, а ее длину — штангенциркулем. Измерения производят в разных местах детали не менее 10 раз.

Результаты измерений заносят в табл. 2 в лабораторной тетради.

Таблица 2

Номер измерения, i	D_i , мм	ΔD_i , мм	L_i , мм	ΔL_i , мм
1				
2				
3				
...				
Средние значения	$\langle D \rangle = \dots$	$\langle \Delta D \rangle = \dots$	$\langle L \rangle = \dots$	$\langle \Delta L \rangle = \dots$
	Точность прибора для измерения диаметра $\delta_1 = \dots$ мм		Точность прибора для измерения длины $\delta_2 = \dots$ мм	

После измерений вычисляют средние значения диаметра $\langle D \rangle$, длины $\langle L \rangle$ цилиндрической детали и их абсолютные ошибки $\langle \Delta D \rangle$ и $\langle \Delta L \rangle$.

Среднее значение объема $\langle V \rangle$ рассчитывают по формуле

$$\langle V \rangle = \pi \langle D \rangle^2 \langle L \rangle / 4.$$

Затем определяют относительные ошибки диаметра E_D , длины E_L и объема E_V

$$E_V = \sqrt{(2E_D)^2 + (E_L)^2}.$$

Абсолютная ошибка среднего значения объема

$$\Delta V = \langle V \rangle E_V.$$

При вычислении среднего значения объема для исключения дополнительной ошибки при округлении числа π следует взять не менее пяти значащих цифр, т.е. $\pi = 3,1416$.

Окончательный результат представляется в стандартной форме:

Объем цилиндрического тела

$$V = (\langle V \rangle \pm \Delta V) \text{ мм}^3;$$

$$E_V = \dots\%$$

Контрольные вопросы

1. Для чего служит нониус в штангенциркуле?
2. Какова точность штангенциркуля, с помощью которого производилось измерение длины цилиндрической детали?
3. Как определяется абсолютная ошибка измерения диаметра проволоки, если все показания микрометра совпали?
4. Что такое точность нониуса?
5. Можно ли существенно повысить точность определения объема цилиндрической детали при увеличении числа измерений ее диаметра и длины до 20 раз и более?

6. От чего зависит точность штангенциркуля?

7. Длину предмета измеряли штангенциркулем пять раз. Результаты измерений: 6,2; 6,3; 6,4; 6,2 и 6,2 мм. Чему равны абсолютная и относительная ошибки измерений?

8. Как изменится точность нониуса при увеличении числа его делений в два раза?

9. Можно ли скомпенсировать ошибку микрометра, обусловленную смещением нулевого положения?

10. Можно ли считать абсолютно точными результаты измерений диаметра микрометром, если все десять его показаний совпали?

Лабораторная работа № 2 **Определение плотности вещества**

Общие сведения

Плотность вещества ρ равна отношению его массы m к объему V , т.е.

$$\rho = m / V.$$

Массу m определяют взвешиванием. Объем V твердых тел правильной геометрической формы рассчитывают по известным формулам с учетом измеренных их линейных размеров. Для твердых тел из нерастворимого вещества любой неправильной формы объем находят погружением их в воду, налитую в мензурку. Плотность вещества таких тел часто определяют методом *гидростатического взвешивания*, основанным на взвешивании исследуемого тела в жидкости с известной плотностью. Этот метод применим и для определения плотности жидких веществ.

Объем тел из волокнистых, пористых, сыпучих и растворимых в жидкости веществ измеряют газовым объеметром, принцип действия которого основан на законе Бойля—Мариотта.

При равномерном распределении массы в объеме тело считается однородным. Для однородных тел точность определе-

ния плотности более высокая, чем для неоднородных. Для неоднородных тел обычно находят среднюю плотность.

Объем тела линейно возрастает с увеличением температуры, поэтому при определении плотности вещества тела необходимо учитывать температурное изменение его объема.

Описание измерительных приборов

В лабораторной работе используют аналитические весы, разновески, рычажные весы, штангенциркуль, микрометр, исследуемый образец цилиндрической формы.

Исследуемое тело имеет правильную цилиндрическую форму. Объем его вычисляют по измеренным диаметру и длине. Измерение диаметра производят микрометром, а длины — штангенциркулем.

Описание микрометра и штангенциркуля дано в лабораторной работе № 1.

Массу определяют взвешиванием исследуемого тела сначала на рычажных весах, а затем на более чувствительных — аналитических. Для повышения точности взвешивания в рычажных весах применяется опорная призма, выполненная из твердого сплава.

Точность аналитических весов составляет десятые доли миллиграмма. В аналитических весах подвижное коромысло опирается призмой на агатовую подушку. Призма имеет заостренную грань. Изготавливается она обычно из закаленной стали. К концам коромысла на призмах подвешены чашки весов, на которые помещают взвешиваемое тело и гири (разновески). Призматические опоры коромысла и подвесов позволяют существенно уменьшить трение между подвижными и неподвижными деталями весов и тем самым повысить их точность.

Большинство современных аналитических весов снабжено воздушным демпфером — успокоителем колебаний. При освобождении от арретира — фиксирующего устройства — коромысло весов приходит в колебательное движение, которое без демпфера может продолжаться довольно долго. Весы с демпфером успокаиваются после нескольких колебаний.

Для предохранения призм и опорных подушек от преждевременного износа весы в нерабочем состоянии необходимо арретировать. При арретировании опорная подушка опускается и положение чашки фиксируется.

Механизм арретированных весов обычно располагается в застекленном корпусе с подъемными либо выдвижными стенками, что защищает весы от загрязнения, толчков и воздушных потоков.

Некоторые современные модификации аналитических весов имеют одночашечный механизм с цифровой индикацией, что существенно упрощает считывание показания весов.

Правила пользования аналитическими весами

1. Не пытаться взвешивать на весах относительно тяжелые тела, масса которых превышает допустимую нагрузку, указанную на весах.

2. Изменение нагрузки на чашках весов производить только при арретированных весах.

3. При маятникообразном колебании чашек следует успокоить весы, осторожно их арретируя.

4. Следует пользоваться пинцетом для помещения разновесок и взвешиваемого тела на чашки весов.

5. Запрещается поднимать весы или двигать их, особенно без фиксации арретиром.

6. Необходимо следить за чистотой рабочего места, взвешиваемого тела и чашек весов.

7. После окончания работы необходимо арретировать и разгрузить весы.

Измерения

Измерение линейных размеров. После получения допуска к выполнению лабораторной работы студенты самостоятельно приступают к измерениям. Сначала измеряют линейные размеры исследуемого образца цилиндрической формы, а затем его взвешивают.

Диаметр цилиндрического тела D и его длину L измеряют штангенциркулем. Измерения диаметра и длины производят

в разных местах цилиндрического тела не менее 10 раз. Результаты измерений D_i и L_i заносят в табл. 1 в лабораторной тетради.

Таблица 1

Номер измерения, i	D_i , мм	ΔD_i , мм	L_i , мм	ΔL_i , мм
1				
2				
3				
...				
Средние значения	$\langle D \rangle = \dots$	$\langle \Delta D \rangle = \dots$	$\langle L \rangle = \dots$	$\langle \Delta L \rangle = \dots$

Точность штангенциркуля $\delta_1 = \dots$

Взвешивание. Определение массы m производят взвешиванием образца сначала на рычажных, а потом на аналитических весах. При пользовании двухчашечными весами применяют метод двойного взвешивания, при котором образец взвешивают 2 раза: сначала на одной, а затем на другой чашке весов. Всего производят 8 взвешиваний на каждой чашке. Полученные результаты взвешивания с помощью рычажных и аналитических весов заносят в отдельные колонки табл. 2 в лабораторной тетради.

Таблица 2

Номер измерения, i	Рычажные весы		Аналитические весы	
	m_{1i} , г	Δm_{1i} , г	m_{2i} , г	Δm_{2i} , г
1				
2				
3				
...				
Средние значения	$\langle m_1 \rangle = \dots$	$\langle \Delta m_1 \rangle = \dots$	$\langle m_2 \rangle = \dots$	$\langle \Delta m_2 \rangle = \dots$
Точность весов				