

**АВТОНОМНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ  
«ТЕХНИКУМ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ИМЕНИ АЛЕКСАНДРА ВАСИЛЬЕВИЧА ВОСКРЕСЕНСКОГО »**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ  
ЗАНЯТИЙ ПО ОДП.10 «ФИЗИКА»**

**для обучающихся по профессии  
15.01.32 Оператор станков с программным управлением**

2020 г.

**РАССМОТРЕНЫ**  
методическим объединением  
общеобразовательного цикла

Председатель методического  
объединения общеобразовательного цикла

Протокол № \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Назначение методических рекомендаций – оказание методической помощи обучающимся при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Физика».

Составитель: преподаватель Петенёва Л.О.

# **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ФИЗИКЕ**

## **СОДЕРЖАНИЕ:**

- Предисловие
- Указания по проведению инструктажа обучающихся по технике безопасности
- Требования к подготовке, выполнению и отчету по лабораторным работам
- Обработка результатов измерений

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Выполнение лабораторных работ решает множество задач по формированию творческой личности специалиста, способного к саморазвитию, самообразованию, и самое главное способного реализовать себя в современном мире. Лабораторные занятия являются неотъемлемым элементом изучения курса физики, т.к. работа в лаборатории формирует основные компетенции: учит студентов самостоятельно воспроизводить и анализировать физические явления, закрепляет теоретические знания, позволяет студентам обучиться получению правильных числовых значений физических величин, проводить логические рассуждения и обретать навыки исследования зависимости между величинами.

При разработке лабораторных работ по физике за основу были взяты лабораторные работы из тетради В.А. Касьянова, поскольку они хорошо себя зарекомендовали в многолетней практике.

## **УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ИНСТРУКТАЖА ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ**

1. Для воспитания у обучающихся сознательного отношения и усвоения правильных и безопасных методов и приемов работы преподаватели обязаны проводить инструктирование и обучение обучающихся по соблюдению требований техники безопасности и гигиены труда.

2. Инструктаж и обучение по технике безопасности и производственной санитарии проводится со всеми обучающимися в виде: вводного (при первом посещении кабинета), на рабочем месте (перед выполнением лабораторных и практических работ).

3. На вводном инструктаже преподаватель должен ознакомить обучающихся с правилами распорядка в кабинете физики, правилами техники безопасности и гигиены труда, опасными моментами, с которыми можно столкнуться в процессе работы, и с соответствующими мерами предосторожности.

4. Вводный инструктаж проводится в виде лекций, беседы заведующим кабинетом (преподавателем) физики.

5. Инструктаж на рабочем месте дополняет вводный инструктаж по технике безопасности и имеет целью ознакомить обучающихся с требованиями правильной организации содержания рабочего места, назначением приспособлений и ограждений, с безопасными методами работы и правилами пользования защитными средствами, с возможными опасными моментами при выполнении конкретной работы, с обязанностями работающего на своем рабочем месте, а также с правилами поведения при возникновении опасных ситуаций.

6. По окончании инструктажа на рабочем месте преподаватель разрешает приступать к самостоятельной работе только после того, как убедится, что все учащиеся усвоили инструктаж.

7. Инструктаж на рабочем месте должен быть кратким, содержать четкие и конкретные указания и в необходимых случаях сопровождаться показом правильных и безопасных приемов выполнения работы.

8. В процессе выполнения работы преподаватель обязан систематически контролировать выполнение каждым обучающимся данных ему при инструктаже указаний о безопасном способе выполнения работы.

## **ИНСТРУКЦИЯ**

### **для обучающихся по охране труда при выполнении лабораторной работы по физике**

#### **1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ**

1.1. К занятиям в кабинете физики и проведению лабораторных работ по физике допускаются обучающиеся 1, 2 и 3 курса, прошедшие инструктаж по охране труда, медицинский осмотр и не имеющие противопоказаний по здоровью. Обучающиеся к подготовке и проведению демонстрационных опытов по физике допускаются только с разрешения преподавателя и в его присутствии.

1.2. При проведении демонстрационных опытов по физике возможно воздействие на работающих и обучающихся следующих опасных и вредных производственных факторов:

- поражение электрическим током при работе с нагретыми жидкостями и различными физическими телами;
- термические ожоги при работе с нагретыми жидкостями и различными физическими телами;
- порезы рук при небрежном обращении с лабораторной посудой и приборами из стекла;
- возникновение пожара при неаккуратном обращении с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями.

1.3. Обучающиеся должны знать:

- кабинет физики укомплектован медицинской аптечкой с набором необходимых медикаментов и перевязочных средств.
- кабинет физики работает с 8.10 до 16.00
- дополнительные занятия с неуспевающими проводятся в назначенный день недели с 14.35 до 17.00

1.4. Обучающиеся при проведении занятий и опытов по физике должны соблюдать правила пожарной безопасности, знать места расположения первичных средств пожаротушения.

1.5. О каждом несчастном случае пострадавший или очевидец несчастного случая обязан немедленно сообщить администрации техникума, врачу. При неисправности оборудования, приспособлений и инструмента прекратить работу и сообщить преподавателю.

1.6. Обучающиеся, допустившие невыполнение или нарушение инструкции по охране труда отстраняются от дальнейшего проведения лабораторной или практической работы.

1.7. Обучающимся запрещается приносить острые, колющие, режущие и другие опасные для жизни и безопасности предметы, химические вещества.

1.8. Обучающимся запрещается открывать окна и фрамуги без разрешения учителя.

1.9. Обучающимся запрещается кричать на переменах, так как крик притупляет внимание, сидеть на столах, качаться на стульях.

1.10. За причиненный ущерб обучающийся несет материальную ответственность в пятикратном размере. Возмещение ущерба производится в течение 1 недели.

#### **2. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕД НАЧАЛОМ РАБОТ**

2.1. Подготовить к работе рабочее место.

2.2. Убедиться в исправности оборудования и приборов.

2.3. Обучающимся запрещается включать электрооборудование, брать подготовленные к уроку приборы без разрешения преподавателя.

2.4. При проведении лабораторных работ вход в кабинет только по звонку или с разрешения преподавателя

#### **3. ТРЕБОВАНИЯ ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ**

3.1. При работе с приборами из стекла применять стеклянные трубки с оплавленными краями, правильно подбирать диаметры резиновых и стеклянных трубок при их соединении. А концы смачивать водой, глицерином или смазывать вазелином.

При смешивании или разбавлении веществ, сопровождающемся выделением тепла, следует пользоваться фарфоровой или термостойкой тонкостенной химической посудой. Большие химические стаканы с растворами нужно поднимать двумя руками так, чтобы отогнутые края

- (бортики) стакана опирались на указательные и большие пальцы.
- 3.2. Отверстие пробирки или горлышко колбы при нагревании в них жидкостей направлять в сторону от себя и обучающихся. Не допускать резкие изменения температуры и механических ударов.
- 3.3. Не брать приборы с горячей жидкостью незащищенными руками, а также закрывать сосуды с горячей жидкостью притертой пробкой до его остывания.
- 3.4. Запрещается превышать пределы допустимых скоростей вращения при демонстрации центробежной машины, универсального электродвигателя, вращающегося диска и др. указанных в технических описаниях, следить за исправностью всех креплений в этих приборах
- 3.5. При измерении напряжений и токов измерительные приборы присоединять проводниками с надежной изоляцией, снабженными наконечниками. При сборке схемы источник тока подключать в последнюю очередь.
- 3.6. Замену деталей, а также измерение сопротивлений в схемах учебных установок производить только после ее выключения и разрядки конденсаторов с помощью изолированного проводника.
- 3.7. Не включать без нагрузки выпрямители и не делать переключений в схемах при включенном питании.
- 3.8. Не допускать прямого попадания в глаза учителя и обучающихся света от электрической дуги, проекционных аппаратов, стробоскопа и лазера при демонстрации работы.
- 3.9. Не оставлять без надзора включенные в сеть электрические устройства и приборы.
- 3.10. При выполнении различных видов работ по физике учащиеся должны следовать следующим правилам:

#### **ОБЩИЕ ПРАВИЛА:**

1. Будьте внимательны, дисциплинированы, осторожны. Точно выполняйте указания учителя
2. Не держите на рабочем месте предметы, не требующиеся для выполнения задания
3. Перед тем как приступить к выполнению работы, тщательно изучите ее описание, уясните ход выполнения.
4. Не приступайте к выполнению работы без разрешения учителя.
5. Размещайте приборы, материалы, оборудование на своем рабочем месте таким образом, чтобы исключить их падение или опрокидывание.
6. Для предотвращения падения стеклянные сосуды (пробирки, колбы) при проведении опытов осторожно закрепляйте в лапке штатива.
7. Следите за исправностью всех креплений.
8. Не прикасайтесь и не наклоняйтесь (особенно с неубранными волосами) к вращающимся частям машины.

#### **ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ**

1. При сборке электрической цепи избегайте пересечения проводов, не пользуйтесь проводниками с изношенной изоляцией и выключателями открытого типа (при напряжении выше 42 В).
2. Подключайте электрическую цепь к источнику тока в последнюю очередь, когда ее сборка закончена. Собранную цепь включайте только после проверки и с разрешения учителя. Наличие напряжения в цепи можно проверить только предназначенными для этого приборами или указателями напряжения.
3. Не прикасайтесь к находящимся под напряжением элементам цепи, лишенным изоляции.
4. Не прикасайтесь к корпусу стационарного электрооборудования и к зажимам даже отключенных конденсаторов.
5. Пользуйтесь инструментами с изолирующими ручками.
6. Для присоединения потребителей к сети пользуйтесь штепсельными соединениями.
7. По окончании работы, прежде всего, отключите источник тока, после чего разберите электрическую цепь.
8. Не оставляйте рабочего места без разрешения учителя.

9. Обнаружив неисправность в электрическом устройстве, находящемся под напряжением, немедленно отключите источник тока и сообщите об этом учителю

#### **ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ НА УСТАНОВЛЕНИЕ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА**

1. Работа с горячей водой требует особого внимания и осторожности при смешивании. Внутренний стакан калориметра незащищенной рукой трогать запрещается.
2. Будьте аккуратны при работе с термометром. Размешивать воду градусником запрещается
3. По окончании измерения температуры термометр убрать в чехол и положить на центр стола.
4. При работе со стеклом (стакан, цилиндр) быть внимательным и аккуратным, не совершать резких движений.
5. По окончании работы все оборудование сдается лаборанту.

#### **ПРАВИЛА РАБОТЫ С МЕЛКИМИ ПРЕДМЕТАМИ**

1. Запрещается кидать мелкие предметы (рис, горох).
2. Быть аккуратным при работе со стеклом.
3. Аккуратно обращаться с иголкой, после работы положить ее в футляр.

#### **ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ ПО МЕХАНИКЕ**

1. Перед работой проверьте закрепление конструкции в держателе.
2. Не допускайте падение грузов и шаров и т.д.
3. Запрещается нагружать измерительные приборы выше предельных значений, обозначенных на их шкале

#### **ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ ПО ОПТИКЕ**

1. Запрещается направлять луч света в глаза.
2. Запрещается использование микроскопа не по его прямому назначению.
3. При работе с микроскопом соблюдать особую осторожность при настройке освещения предметного стекла.
4. Запрещается направлять линзы (оптические системы) на мощные источники света (солнце, прожекторы и т.д.).

#### **ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА**

1. При работе с гигрометром соблюдать осторожность
2. Будьте аккуратны при работе с термометром. Размешивать воду градусником запрещается
3. По окончании измерения температуры термометр убрать в чехол и положить на центр стола.
4. При работе со стеклом быть предельно аккуратным.

#### **4. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

- 4.1. При обнаружении неисправности в работе электрических устройств, немедленно прекратить работу и отключить источник электропитания. Работу продолжать только после устранения неисправности.
- 4.2. При коротком замыкание в электрических устройствах и их загорании, немедленно отключить их от сети организованно покинуть помещение. Сообщить о пожаре в ближайшую часть и приступить к тушению очага возгорания с помощью углекислотного (порошкового) огнетушителя или песком.
- 4.3. При разливе легковоспламеняющейся жидкости и ее загорании сообщить учителю, сообщить о пожаре в ближайшую пожарную часть и приступить к тушению очага возгорания с помощью первичных средств пожаротушения.
- 4.4. В случае, если разбилась лабораторная посуда или приборы из стекла, не собирать их осколки незащищенными руками, а использовать для этой цели щетку и совок.
- 4.5. При получении травмы оказать первую помощь пострадавшему, сообщить об этом администрации гимназии, врачу, при необходимости отправить пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение.

- 4.6. При плохом самочувствии сообщить об этом учителю.
- 4.7. При возникновении нестандартной ситуации учащиеся должны сохранять спокойствие и неукоснительно выполнять указания учителя.

## **5. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПО ОКОНЧАНИИ РАБОТЫ**

- 5.1. Отключить электрические устройства и приборы от источника электропитания по указанию учителя.
- 5.2. Привести в порядок рабочее место.
- 5.3. Закончив работу, сдать оборудование в целостности и сохранности учителю или лаборанту.
- 5.4. Не уходить с рабочего места без разрешения учителя.
- 5.5. Тщательно вымыть руки с мылом.

## **ИНСТРУКЦИЯ**

### **по электропожарной безопасности в кабинете физики**

1. Будьте внимательны, дисциплинированы, осторожны, точно выполняйте указания учителя
2. Не оставляйте рабочего места без разрешения учителя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке указанном учителем.
4. Не держите на рабочем месте предметы, не требующиеся для выполнения задания.
5. Перед тем как приступить к выполнению работы, тщательно изучите ее описания, уясните ход выполнения.
6. Производите сборку электрических цепей, переключения в них, монтаж и ремонт электрических устройств только при отключении источника питания.
7. Не включайте источник электропитания без разрешения учителя.
8. Проверьте наличие напряжения на источнике питания или других частях электроустановок с помощью указателя напряжения.
9. Следите, чтобы изоляция проводов была исправна, а на концах проводов наконечники, при сборке электрической цепи провода располагайте аккуратно, а наконечники плотно зажимайте клеммами.
10. Выполняйте наблюдения и измерения, соблюдая осторожность, чтобы случайно не прикоснуться к оголенным проводам/токоведущим частям, находящимся под напряжением.
11. Не прикасайтесь к конденсаторам даже после отключения электрической цепи от источника электропитания: их сначала нужно разрядить.
12. По окончании работы отключите источник электропитания, после чего разберите электрическую цепь.
13. Обнаружив неисправность в электрических устройствах, находящихся под напряжением, немедленно отключите источники электропитания и сообщите об этом учителю.
14. На уроках физики при опытах не пользоваться зажигалками, а только спичками. Быть осторожным с огнем.
15. Соблюдать меры пожарной безопасности по предупреждению пожара от замыкания электрических схем, контактов подводящих проводов.
16. В случае пожара вспыхнувший огонь тушить песком, пеногасителем, имеющимся в лаборатории огнетушителем
17. Выполняйте правила пожарной безопасности при выполнении опытов и экспериментальных заданий.
18. В случае пожара звонить по телефону 01.
19. Запрещается применять бензин в качестве топлива в спиртовках.
20. Запрещается использовать металлические асбестированные сетки и нафталин
21. Нельзя оставлять включенные электро- и радиоустройства без надзора и допускать к ним посторонних лиц.
22. При выполнении работ на установление теплового баланса воду следует нагревать не выше 60-700 °С
23. Запрещается зажигать спиртовку от другой горячей спиртовки.

24. Проведение лабораторных работ и демонстрационных опытов с применением ртути категорически запрещается.

25. Запрещается нагружать измерительные приборы выше предельных значений, обозначенных на их шкале.

26. Учебные приборы, предназначенные для практических работ учащихся, присоединяются к источникам питания с напряжением не выше 42 В.

### **ТРЕБОВАНИЯ К ПОДГОТОВКЕ, ВЫПОЛНЕНИЮ И ОТЧЕТУ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

- При выполнении лабораторных (практических) работ обучающийся **должен знать**:
- основы измерения;
- виды и формы представления информации (график, формула, таблица);
- правила эксплуатации применяемого оборудования;
- математические функции (прямая и обратная пропорциональность, линейная и квадратичная зависимость, синусоидальная зависимость)

**должен уметь**:

- пользоваться контрольно-измерительными приборами;
- производить расчеты и определять характер зависимости между исследуемыми величинами;
- проводить математические вычисления с помощью калькулятора;
- переводить единицы измерения различных физических величин в систему СИ;
- оформлять вывод.

#### **Правила проведения лабораторных и практических работ**

1. Студент должен подготовить ответы на теоретические вопросы к ЛПЗ;
2. Перед началом каждой работы проверяется готовность студента к ЛПЗ;
3. После выполнения лабораторной (практической) работы студент должен представить отчет о проделанной работе с обсуждением полученных результатов и выводов;
4. Студент, пропустивший ЛПЗ по уважительной или неуважительной причинам, обязан выполнить работу в дополнительно назначенное время.
5. Оценка за работу студенту выставляется с учетом предварительной подготовки к работе, доли самостоятельности при ее выполнении, точности и грамотности оформления отчета по работе.

#### **Этапы выполнения лабораторных (практических) работ**

##### **1. Постановка задачи работы**

На первом занятии со студентами проводится общая постановка задач. Преподаватель может давать необходимые пояснения по методике предстоящих лабораторных (практических) работ. Перед проведением работы преподаватель проводит постановку задачи конкретного лабораторного или практического занятия. Здесь разъясняется группе студентов содержание и объем конкретной лабораторной (практической) работы. Прежде всего, формулируются цели, задачи, основные этапы работы, последовательность и ход решения. Определяются содержание и форма представления результатов работы. Проводится инструктаж по Охране труда с записью в журнал.

##### **2. Ознакомление студента с содержанием и объемом работы.**

На этом этапе студент должен тщательно изучить содержание и объем предстоящей работы. Если постановка задачи недостаточно ясна, он может обратиться к преподавателю за дополнительными разъяснениями. Затем студент приступает к выполнению задания лабораторной (практической) работы.

##### **3. Порядок выполнения работы.**

В соответствии с установленной последовательностью этапов работы студент выполняет объем работ, предусмотренных заданием. При условии выполнения полного объема работы студент проверяет правильность результатов и предъявляет преподавателю результаты работы, в виде



расчетов или заполненных таблиц. В случае замеченных ошибок, студент принимает меры к их исправлению и затем снова предъявляет результаты преподавателю для контроля и приема результатов работы. Если в работе ошибок не содержится, то приступает к составлению и оформлению отчета по работе.

#### **4. Регистрация результатов и оформление отчета по работе.**

По мере того, как выполняются этапы лабораторной (практической) работы, студент регистрирует все результаты своей работы в виде таблиц или графиков и проводит анализ полученных результатов. Все расчеты должны быть подробными и оформлены в соответствии с требованиями указанными к оформлению отчета студента по его работе. Отчет по лабораторной работе должен быть выполнен в тетради для лабораторных работ соответствующего студента. На основе полученных результатов студент пишет подробный вывод.

#### **6. Заключительная часть лабораторной (практической) работы.**

После окончания составления отчета студент проверяет его правильность и устраняет ошибки. В конце занятия тетрадь с полностью выполненной работой сдать преподавателю. Если работа в конце занятия осталась не законченной, сообщить об этом преподавателю и доделать работу во внеурочное время по договоренности (желательно в этот день).

#### **Лабораторная работа составляется по следующей обобщенной структуре:**

- Наименование идентифицирующих признаков: «Лабораторная (практической) работе № \_\_\_\_\_ по теме (наименование темы)».
- Цель работы. Формулируется в соответствии с содержанием раздела «Цель работы», соответствующей лабораторной (практической) работы.
- Методика работы. Определяется в соответствии с указанной выше формулировкой и при необходимости уточняется в зависимости от содержания конкретной лабораторной (практической) работы.
- Этапы выполнения работы. Приводятся номера и наименования этапов работы, указанные выше. Последовательно по каждому из этапов приводится характеристика содержания выполненных по этапу работ.
- Ответы на контрольные вопросы приводятся во всех лабораторных (практических) работах.
- Выводы по работе. К этой части работы студент должен быть особенно внимательным. Формулируются выводы теоретического и практического характера о выполненной лабораторной (практической) работе. Обычно выводы излагаются последовательно по каждому из этапов работы (отчета) – 1-2 вывода. Выводы формулируются в сжатой и четкой форме. Вывод должен содержать сжатую мысль о выполненном этапе работы, как результат аналитической переработки содержания выполненного этапа. Не следует указывать в выводах содержание и объем выполненных работ.

#### **Структура отчета по лабораторной работе, выполненной студентом:**

- тема,
- цель работы,
- теоретическое обоснование,
- методика измерений,
- описание установки,
- порядок выполнения работы и обработки результатов измерений,
- вывод
- контрольные вопросы в конце каждой работы, которые обеспечивают подготовку студента к её защите.

#### **ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ (см. ПРИЛОЖЕНИЕ)**

- Измерение физических величин
- Прямое измерение

- Косвенное измерение
- Виды погрешностей измерений
- Цена деления шкалы С
- абсолютная погрешность измерений
- приборная погрешность измерений
- относительная погрешность измерений
- методы вычисления погрешности прямых и косвенных измерений
- таблица расчетных формул
- запись результатов измерений

## **ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ "ФИЗИКА"**

Лабораторная работа №1

*«Исследование движения тела под действием постоянной силы»*

Лабораторная работа №2

*«Изучение закона Бойля-Мариотта»*

Лабораторная работа №3

*«Измерение поверхностного натяжения жидкости»*

Лабораторная работа №4

*«Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока»*

Лабораторная работа №5

*«Изучение явления электромагнитной индукции»*

Лабораторная работа №6

*«Изучение зависимости периода колебаний нитяного маятника от длины нити»*

Лабораторная работа №7

*«Определение показателя преломления стекла»*

Лабораторная работа №8

*«Проверка формулы тонкой линзы»*

Лабораторная работа №9

*«Изучение интерференции и дифракции света»* (может быть заменена на практическую работу "Измерение длины световой волны с помощью дифракционной решётки" )

ПРИЛОЖЕНИЕ

### **ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ**

#### **Измерение физических величин**

В основе точных естественных наук лежат измерения. При измерениях значения величин выражаются в виде чисел, которые указывают во сколько раз измеренная величина больше или меньше другой величины, значение которой принято за единицу. Полученные в результате измерений числовые значения различных величин могут зависеть друг от друга. Связь между такими величинами выражается в виде формул, которые показывают, как числовые значения одних величин могут быть найдены по числовым значениям других.

При измерениях неизбежно возникают погрешности. Необходимо владеть методами, применяемыми при обработке результатов, полученных при измерениях. Это позволит научиться получать из совокупности измерений наиболее близкие к истине результаты, вовремя заметить несоответствия и ошибки, разумно организовать сами измерения и правильно оценить точность полученных значений.

Если измерение заключается в сравнении данной величины с другой, однородной величиной, принятой за единицу, то измерение в этом случае называется прямым.

**Прямые (непосредственные) измерения** – это такие измерения, при которых мы получаем численное значение измеряемой величины либо прямым сравнением ее с мерой (эталоном), либо с помощью приборов, градуированных в единицах измеряемой величины.

Однако далеко не всегда такое сравнение производится непосредственно. В большинстве случаев измеряется не сама интересующая нас величина, а другие величины, связанные с нею

теми или иными соотношениями и закономерностями. В этом случае для измерения необходимой величины приходится предварительно измерить несколько других величин, по значению которых вычислением определяется значение искомой величины. Такое измерение называется косвенным.

**Косвенные измерения** состоят из непосредственных измерений одной или нескольких величин, связанных с определяемой величиной количественной зависимостью, и вычисления по этим данным определяемой величины.

В измерениях всегда участвуют измерительные приборы, которые одной величине ставят в соответствие связанную с ней другую, доступную количественной оценке с помощью наших органов чувств. Например, силе тока ставится в соответствие угол отклонения стрелки на шкале с делениями. При этом должны выполняться два основных условия процесса измерения: однозначность и воспроизводимость результата. Эти два условия всегда выполняются только приблизительно. Поэтому **процесс измерения содержит наряду с нахождением искомой величины и оценку неточности измерения.**

Современный инженер и рабочий должны уметь оценить погрешность результатов измерений с учетом требуемой надежности. Поэтому большое внимание уделяется обработке результатов измерений. Знакомство с основными методами расчета погрешностей – одна из главных задач лабораторных и практических работ.

### **Почему возникают погрешности?**

Существует много причин для возникновения погрешностей измерений. Перечислим некоторые из них.

- Процессы, происходящие при взаимодействии прибора с объектом измерений, неизбежно изменяют измеряемую величину. Например, измерение размеров детали с помощью штангенциркуля, приводит к сжатию детали, то есть к изменению ее размеров. Иногда влияние прибора на измеряемую величину можно сделать относительно малым, иногда же оно сравнимо или даже превышает саму измеряемую величину.
- Любой прибор имеет ограниченные возможности однозначного определения измеряемой величины вследствие конструктивной неидеальности. Например, трение между различными деталями в стрелочном блоке амперметра приводит к тому, что изменение тока на некоторую малую, но конечную, величину не вызовет изменения угла отклонения стрелки.
- Во всех процессах взаимодействия прибора с объектом измерения всегда участвует внешняя среда, параметры которой могут изменяться и, зачастую, непредсказуемым образом. Это ограничивает возможность воспроизводимости условий измерения, а, следовательно, и результата измерения.
- При визуальном снятии показаний прибора возможна неоднозначность в считывании показаний прибора вследствие ограниченных возможностей нашего глазомера.
- Большинство величин определяется косвенным образом на основании наших знаний о связи искомой величины с другими величинами, непосредственно измеряемыми приборами. Очевидно, что погрешность косвенного измерения зависит от погрешностей всех прямых измерений. Кроме того, в ошибки косвенного измерения свой вклад вносят и ограниченность наших познаний об измеряемом объекте, и упрощенность математического описания связей между величинами, и игнорирование влияния тех величин, воздействие которых в процессе измерения считается несущественным.

### **Классификация погрешностей**

1. Абсолютной погрешностью – разностью между найденным на опыте (измеренным)  $X_{изм}$  и истинным значением  $X_{ист}$  некоторой величины

$$\Delta X = X_{изм} - X_{ист}. \quad (1)$$

Абсолютная погрешность показывает, на сколько мы ошибаемся при измерении некоторой величины  $X$ .

2. Относительной погрешностью равной отношению абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины  $X$

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta X}{X_{\text{ист.}}} \quad (2)$$

Относительная погрешность показывает, на какую долю от истинного значения величины  $X$  мы ошибаемся.

**Качество** результатов измерений какой-то величины  $X$  характеризуется относительной погрешностью  $\varepsilon_x$ . Величина  $\varepsilon_x$  может быть выражена в процентах.

Из формул (1) и (2) следует, что для нахождения абсолютной и относительной погрешностей измерений, нужно знать не только измеренное, но и истинное значение интересующей нас величины. Но если истинное значение известно, то незачем производить измерения. Цель измерений всегда состоит в том, чтобы узнать не известное заранее значение некоторой величины и найти если не ее истинное значение, то хотя бы значение, достаточно мало от него отличающееся. Поэтому формулы (1) и (2), определяющие величину погрешностей на практике не пригодны. При практических измерениях погрешности не вычисляются, а оцениваются. При оценках учитываются условия проведения эксперимента, точность методики, качество приборов и ряд других факторов. Наша задача: научиться строить методику эксперимента и правильно использовать полученные на опыте данные для того, чтобы находить достаточно близкие к истинным значения измеряемых величин, разумно оценивать погрешности измерений.

Говоря о погрешностях измерений, следует, прежде всего, упомянуть о **грубых погрешностях (промахах)**, возникающих вследствие недосмотра экспериментатора или неисправности аппаратуры. Грубых ошибок следует избегать. Если установлено, что они произошли, соответствующие измерения нужно отбрасывать.

Не связанные с грубыми ошибками погрешности опыта делятся на случайные и систематические.

**случайные погрешности.** Многократно повторяя одни и те же измерения, можно заметить, что довольно часто их результаты не в точности равны друг другу, а «пляшут» вокруг некоторого среднего (рис.1). Погрешности, меняющие величину и знак от опыта к опыту, называют случайными. Случайные погрешности произвольно вносятся экспериментатором вследствие несовершенства органов чувств, случайных внешних факторов и т. д. Если погрешность каждого отдельного измерения принципиально непредсказуема, то они случайным образом изменяют значение измеряемой величины. Эти погрешности можно оценить только при помощи статистической обработки многократных измерений искомой величины.

**Систематические погрешности** могут быть связаны с ошибками приборов (неправильная шкала, неравномерно растягивающаяся пружина, неравномерный шаг микрометрического винта, не равные плечи весов и т. д.) и с самой постановкой опыта. Они сохраняют свою величину (и знак!) во время эксперимента. В результате систематических погрешностей разбросанные из-за случайных погрешностей результаты опыта колеблются не вокруг истинного, а вокруг некоторого смещенного значения (рис.2). погрешность каждого измерения искомой величины можно предсказать заранее, зная характеристики прибора.

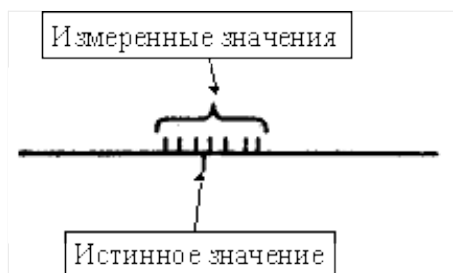


Рис.1

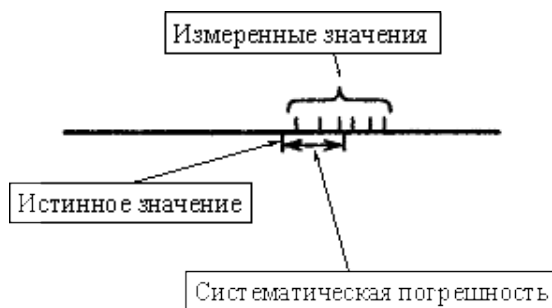


Рис.2

## Расчет погрешностей прямых измерений

**Систематические погрешности.** Систематические ошибки закономерным образом изменяют значения измеряемой величины. Наиболее просто поддаются оценке погрешности, вносимые в измерения приборами, если они связаны с конструктивными особенностями самих приборов. Эти погрешности указываются в паспортах к приборам. Погрешности некоторых приборов можно оценить и не обращаясь к паспорту. Для многих электроизмерительных приборов непосредственно на шкале указан их класс точности.

**Класс точности прибора  $\gamma$**  – это отношение абсолютной погрешности прибора  $\Delta X_{\text{приб}}$  к максимальному значению измеряемой величины  $X_{\text{max}}$ , которое можно определить с помощью данного прибора (это систематическая относительная погрешность данного прибора, выраженная в процентах от номинала шкалы  $X_{\text{max}}$ ).

$$\gamma = \frac{\Delta X_{\text{приб}}}{X_{\text{max}}} \cdot 100\%$$

Тогда абсолютная погрешность  $\Delta X_{\text{приб}}$  такого прибора определяется соотношением:

$$\Delta X_{\text{приб}} = \frac{\gamma \cdot X_{\text{max}}}{100\%}$$

Для электроизмерительных приборов введено **8 классов** точности: 0,05; 0,1; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4.

Чем ближе измеряемая величина к номиналу, тем более точным будет результат измерения. Максимальная точность (т. е. наименьшая относительная ошибка), которую может обеспечить данный прибор, равна классу точности. Это обстоятельство необходимо учитывать при использовании многошкальных приборов. Шкалу надо выбирать с таким расчетом, чтобы измеряемая величина, оставаясь в пределах шкалы, была как можно ближе к номиналу.

Если класс точности для прибора не указан, то необходимо руководствоваться следующими правилами:

- Абсолютная погрешность приборов с нониусом равна точности нониуса.
- Абсолютная погрешность приборов с фиксированным шагом стрелки равна цене деления[1].
- Абсолютная погрешность цифровых приборов равна единице минимального разряда.
- Для всех остальных приборов абсолютная погрешность принимается равной половине цены деления.

**Случайные погрешности.** Эти погрешности имеют статистический характер и описываются **теорией вероятности**. Установлено, что при очень большом количестве измерений вероятность получить тот или иной результат в каждом отдельном измерении можно определить при помощи нормального распределения Гаусса. При малом числе измерений математическое описание вероятности получения того или иного результата измерения называется распределением Стьюдента (более подробно об этом можно прочитать в пособии Скворцовой И. Л. «Ошибки измерений физических величин»).

Как же оценить истинное значение измеряемой величины?

Пусть при измерении некоторой величины  $X$  мы получили  $N$  результатов:  $X_1, X_2, \dots, X_N$ . Среднее арифметическое серии измерений ближе к истинному значению измеряемой величины, чем большинство отдельных измерений. Для получения результата измерения некоторой величины  $X$  используется следующий алгоритм.

Вычисляется **среднее арифметическое** серии из  $N$  прямых измерений:

$$X_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

Разряд значащей цифры абсолютной погрешности определяет разряд первой сомнительной цифры в значении результата. Следовательно, само **значение результата нужно округлять (с поправкой) до той значащей цифры, разряд которой совпадает с разрядом значащей цифры погрешности**. Сформулированное правило следует применять и в тех случаях, когда некоторые из цифр являются нулями.

Пример.

Если при измерении массы тела получен результат  $m = (0,900 \pm 0,004) \text{ кг}$ , то писать нули в конце числа 0,900 необходимо. Запись  $m = 0,9$  означала бы, что о следующих значащих цифрах ничего не известно, в то время как измерения показали, что они равны нулю.

Вычисляется **относительная погрешность**  $\varepsilon_x$ . При округлении относительной погрешности достаточно оставить две значащие цифры. **результат серии измерений некоторой физической величины представляют в виде интервала значений с указанием вероятности попадания истинного значения в данный интервал**, то есть результат необходимо записать в виде:

$$X = X_{\text{cp}} \pm \Delta X; \quad \varepsilon_x = \frac{\Delta X}{X_{\text{cp}}}; \quad \alpha = 0,9.$$

Здесь  $\Delta X$  – полная, округленная до первой значащей цифры, абсолютная погрешность и  $X_{\text{cp}}$  – округленное с учетом уже округленной погрешности среднее значение измеряемой величины. **При записи результата измерений обязательно нужно указать единицу измерения величины.**

Рассмотрим несколько примеров:

1. Пусть при измерении длины отрезка мы получили следующий результат:  $l_{\text{cp}} = 2,34582 \text{ см}$  и  $\Delta l = 0,02631 \text{ см}$ . Как грамотно записать результат измерений длины отрезка? Сначала округляем с избытком абсолютную погрешность, оставляя одну значащую цифру  $\Delta l = 0,02631 \approx 0,03 \text{ см}$ . Значащая цифра погрешности в разряде сотых. Затем округляем с поправкой среднее значение с точностью до сотых, т. е. до той значащей цифры, разряд которой совпадает с разрядом значащей цифры погрешности  $l_{\text{cp}} = 2,34582 \approx 2,35 \text{ см}$ . Вычисляем относительную погрешность

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l_{\text{cp}}} = \frac{0,03}{2,35} \approx 0,013$$

Результат измерений записываем так:

$$l = (2,35 \pm 0,03) \text{ см}; \quad \varepsilon_l = 0,013 = 1,3\%; \quad \alpha = 0,9.$$

2. Пусть при расчете сопротивления проводника мы получили следующий результат:  $R_{\text{cp}} = 28,7673 \text{ Ом}$  и  $\Delta R = 2,4652 \text{ Ом}$ . Сначала округляем абсолютную погрешность, оставляя одну значащую цифру  $\Delta R = 2,4652 \text{ Ом} \approx 3 \text{ Ом}$ . Затем округляем среднее значение с точностью до целых  $R_{\text{cp}} = 28,7673 \text{ Ом} \approx 29 \text{ Ом}$ . Вычисляем относительную погрешность

$$\varepsilon_R = \frac{\Delta R}{R_{\text{cp}}} = \frac{3}{29} \approx 0,11$$

Результат измерений записываем так:

$$R = (29 \pm 3) \text{ Ом}; \quad \varepsilon_R = 0,11 = 11\%; \quad \alpha = 0,9.$$

3. Пусть при расчете массы груза мы получили следующий результат:  $m_{\text{cp}} = 357,456 \text{ кг}$  и  $\Delta m = 24,726 \text{ кг}$ . Сначала округляем абсолютную погрешность, оставляя одну значащую цифру  $\Delta m = 24,726 \approx 30 \text{ кг}$ . Затем округляем среднее значение с точностью до десятков  $m_{\text{cp}} = 357,456 \approx 360 \text{ кг}$ . Вычисляем относительную погрешность

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta m}{m_{\text{cp}}} = \frac{30}{360} \approx 0,083$$

Результат измерений массы груза записываем так:

$$m = (360 \pm 30) \text{ кг}; \quad \varepsilon_m = 0,083 = 8,3\%; \quad \alpha = 0,9.$$

Формулы порядок расчета относительной погрешности исходя из расчетных формул при косвенных измерениях

таблица

1

Расчётная формула	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность
$a \pm b$	$\Delta a + \Delta b$	$\frac{\Delta a + \Delta b}{a + b}$
$ab$	$a\Delta b + b\Delta a$	$\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$
$\frac{a}{b}$	$\frac{a\Delta b + b\Delta a}{b^2}$	$\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$
$a^n$	$na^{n-1}\Delta a$	$\frac{\Delta a}{na}$
$\sqrt[n]{a}$	$\frac{\Delta a}{n\sqrt[n]{a^{n-1}}}$	$\frac{n\Delta a}{a}$

Выполняя косвенные измерения величин, для расчета необходимо придерживаться следующих правил:

1. Определите абсолютные погрешности прямых измерений величин, входящих в формулу.
2. Измерьте физические величины и вычислите значение искомой величины по формуле  $a_{\text{изм}}$ .
3. Вычислите относительную погрешность косвенного измерения величины, пользуясь соответствующими формулами из таблицы 1.
4. Вычислите абсолютную погрешность косвенного измерения величины:

$$\Delta a = a_{\text{изм}} \cdot \delta a.$$

### Вопросы и задачи по теории погрешностей

1. Что значит измерить физическую величину? Приведите примеры.
2. Почему возникают погрешности измерений?
3. Что такое абсолютная погрешность?
4. Что такое относительная погрешность?
5. Какая погрешность характеризует качество измерения? Приведите примеры.
6. Что такое доверительный интервал?
7. Дайте определение понятию «систематическая погрешность».
8. Каковы причины возникновения систематических погрешностей?
9. Что такое класс точности измерительного прибора?
10. Как определяются абсолютные погрешности различных физических приборов?
11. Какие погрешности называются случайными и как они возникают?
12. Опишите процедуру вычисления средней квадратичной погрешности.
13. Опишите процедуру расчета абсолютной случайной погрешности прямых измерений.
14. Что такое «коэффициент надежности»?
15. От каких параметров и как зависит коэффициент Стьюдента?
16. Как рассчитывается полная абсолютная погрешность прямых измерений?
17. Напишите формулы для определения относительной и абсолютной погрешностей косвенных измерений.
18. Сформулируйте правила округления результата с погрешностью.
19. Найдите относительную погрешность измерения длины стены при помощи рулетки с ценой деления 0,5см. Измеренная величина составила 4,66м.
20. При измерении длины сторон А и В прямоугольника были допущены абсолютные погрешности  $\Delta A$  и  $\Delta B$  соответственно. Напишите формулу для расчета абсолютной погрешности  $\Delta S$ , полученной при определении площади по результатам этих измерений.

21. Измерение длины ребра куба  $L$  имело погрешность  $\Delta L$ . Напишите формулу для определения относительной погрешности объема куба по результатам этих измерений.
22. Тело двигалось равноускоренно из состояния покоя. Для расчета ускорения измерили путь  $S$ , пройденный телом, и время его движения  $t$ . Абсолютные погрешности этих прямых измерений составили соответственно  $\Delta S$  и  $\Delta t$ . Выведите формулу для расчета относительной погрешности ускорения по этим данным.
23. При расчете мощности нагревательного прибора по данным измерений получены значения  $P_{\text{ср}} = 2361,7893735$  Вт и  $\Delta P = 35,4822$  Вт. Запишите результат в виде доверительного интервала, выполнив необходимое округление.
24. При расчете величины сопротивления по данным измерений получены следующие значения:  $R_{\text{ср}} = 123,7893735$  Ом,  $\Delta R = 0,348$  Ом. Запишите результат в виде доверительного интервала, выполнив необходимое округление.
25. При расчете величины коэффициента трения по данным измерений получены значения  $\mu_{\text{ср}} = 0,7823735$  и  $\Delta \mu = 0,03348$ . Запишите результат в виде доверительного интервала, выполнив необходимое округление.
26. Ток силой  $16,6$  А определялся по прибору с классом точности  $1,5$  и номиналом шкалы  $50$  А. Найдите абсолютную приборную и относительную погрешности этого измерения.