

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

А.С. Спиридонова, Е.В. Кузьминская, М.В. Скороспешкин

МЕТРОЛОГИЯ И ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

*Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2024

УДК 006(07)
ББК 30.10я7+65.291.82я73
С72

Спиридонова А.С.

С72 Метрология и основы технического регулирования : учебно-методическое пособие / А.С. Спиридонова, Е.В. Кузьминская, М.В. Скороспешкин ; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2024. – 96 с.

В пособии изложены учебно-методические материалы по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация», содержащие описание лабораторных работ, а также рекомендации по их подготовке и проведению. Кратко рассмотрены основные положения по метрологии и стандартизации, приведены основные понятия, отражены особенности обработки результатов измерений.

Предназначено для студентов технических специальностей.

УДК 006(07)
ББК 30.10я7+65.291.82я73

Рецензенты

Кандидат технических наук
заместитель директора ФБУ «Томский ЦСМ»
Т.В. Галицкая

Кандидат химических наук, доцент ТГУ
Н.А. Гавриленко

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2024
© Спиридонова А.С., Кузьминская Е.В.,
Скороспешкин М.В., 2024
© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ 1. МЕТРОЛОГИЯ.....	6
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1. Классификация средств измерений и нормируемые метрологические характеристики	6
1.1. Классификация средств измерений и их метрологические характеристики.....	8
1.1.1. Классификация средств измерений	8
1.1.2. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений	12
Контрольные вопросы и задания.....	17
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2. Косвенные однократные измерения	18
2.1. Косвенные измерения	24
2.1.1. Классификация измерений	24
2.1.2. Погрешности, возникающие при измерениях	27
2.1.3. Оценивание погрешности измерений.....	28
2.1.4. Погрешность записи (округления) числа.....	31
Контрольные вопросы и задания.....	31
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3. Обработка результатов совокупных однократных измерений	32
Контрольные вопросы и задания.....	35
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4. Обработка результатов прямых многократных измерений	36
4.1. Оценивание погрешности измерения при многократных измерениях.....	38
4.1.1. Способы исключения известных систематических погрешностей из результатов измерений.....	39
4.1.2. Оценка измеряемой величины и среднего квадратического отклонения	39
4.1.3. Исключение грубых погрешностей	40
4.1.4. Проверка гипотезы о нормальности распределения результатов измерений.....	41
4.1.5. Построение гистограммы и определение вида экспериментального закона распределения результатов многократных наблюдений.....	42
4.1.6. Доверительные границы случайной погрешности оценки измеряемой величины	43
4.1.7. Доверительные границы неисклученной систематической погрешности	44
4.1.8. Доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины	45
Контрольные вопросы и задания.....	45

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5. Оценивание неопределенности результатов прямых многократных измерений	46
5.1. Оценивание неопределенности результатов измерений.....	48
5.1.1. Составление уравнения измерения	48
5.1.2. Оценка входных величин и их стандартных неопределенностей	48
5.1.3. Оценивание суммарной стандартной неопределенности....	50
5.1.4. Выбор коэффициента охвата при вычислении расширенной неопределенности	51
5.1.5. Составление бюджета неопределенности	52
5.1.6. Определение расширенной неопределенности измерений	52
Контрольные вопросы и задания.....	53
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6. Оценивание неопределенности результатов косвенных измерений	54
Контрольные вопросы и задания.....	56
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7. Методы измерений: непосредственной оценки, нулевой метод, дифференциальный метод, метод дополнения	57
Методы измерений.....	61
Контрольные вопросы и задания.....	64
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8. Методы измерений: метод замещения	65
Плоскопараллельная концевая мера длины	66
Контрольные вопросы и задания.....	69
РАЗДЕЛ 2. СТАНДАРТИЗАЦИЯ	70
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9. Национальные стандарты: содержание, виды, категории. Указатель «Национальные стандарты» и его применение.....	70
9.1. Основные понятия и термины в области стандартизации	75
9.2. Категории стандартов	78
9.3. Виды стандартов	79
9.4. Область и объект стандартизации	81
9.5. Комплексные системы стандартов	81
9.6. Применение международных, региональных или национальных стандартов других стран	84
9.7. Указатель «Национальные стандарты»	84
9.8. Информационно-поисковая система «Кодекс».....	85
Контрольные вопросы и задания.....	86
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	87
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	88
ПРИЛОЖЕНИЯ	90

ВВЕДЕНИЕ

Россия – огромная страна с огромными возможностями, идущая по пути ускоренного развития всех сфер жизни на основе высоких технологий. Такое развитие немислимо без точных измерений и стандартизованных процедур. Ключевым фактором ускорения модернизации производства и повышения конкурентоспособности продукции является метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и достижения требуемой точности. Сегодня без метрологии и стандартизации невозможно организовать современное производство, основанное на сверхточных средствах и методах измерений.

Ежедневно проводятся миллионы измерений: в магазине, на современном предприятии или в процессе проведения научных исследований. Оценивание проведенных измерений и правильность принятия решений зависят от методики обработки полученных результатов. При обработке результатов измерений необходимо учитывать множество факторов: количество проведенных наблюдений, способы и методы получения информации об объекте, погрешности используемых средств измерений, условия проведения измерений и т. д.

В связи с этим в пособии рассмотрены классификационные признаки средств измерений и выделены их основные часто встречающиеся точностные характеристики, подробно описаны алгоритмы обработки результатов различных видов измерений: прямых и косвенных, однократных и многократных, представлены методы оценивания неопределенности измерений, даны рекомендации по построению графического материала. Также рассмотрены теоретические положения деятельности по стандартизации, принципы построения и правила пользования стандартами и другой нормативно-технической документацией.

Учебно-методическое пособие разработано для закрепления теоретических знаний и получения практических навыков по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация». Настоящее пособие подходит для студентов технических специальностей.

РАЗДЕЛ 1. МЕТРОЛОГИЯ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

Классификация средств измерений и нормируемые метрологические характеристики

Цель:

- ознакомление с технической документацией на средства измерений и определение по ней основных классификационных признаков и нормируемых метрологических характеристик применяемых средств измерений;
- приобретение навыков определения основных классификационных признаков, применяемых средств измерений и их нормируемых метрологических характеристик непосредственно по средствам измерений;
- закрепление теоретических знаний по разделу «Классификация средств измерений» изучаемой дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация».

Используемое оборудование и материалы (в лабораторной работе может быть использовано другое оборудование): источник питания АТН-1232; генератор ГЗ-109; осциллограф DSO-Pro; цифровой вольтметр В7-22А; аналоговый вольтметр ВЗ-38; частотомер электронно-счетный РЧЗ-07; мультиметр АМ-1097; рулетка; микрометр; штангенциркуль; магазин сопротивлений; гигрометр психрометрический ВИТ-2; стандартный образец и др.

Программа работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом, приведенным в п. 1.1.
2. Определить классификационные признаки, указанные в табл.1.1 для средств измерений (СИ), приведенных в варианте задания (табл. 1.2 или варианты, выданные преподавателем). Определенные классификационные признаки средств измерений занести в табл.1.1.
3. Определить метрологические характеристики средств измерений (далее – МХ СИ):
 - ознакомиться с технической документацией на средства измерений по выбранному варианту. В технической документации выбрать нормированные метрологические характеристики (НМХ) СИ и внести их в табл. 1.2;
 - по лицевой панели СИ определить их МХ и внести в табл. 1.2;
 - составить отчет о проделанной работе, который должен включать:
 - титульный лист (образец приведен в прил. А);
 - цель работы;

- используемое оборудование и материалы (привести оборудование по варианту задания);
- ход выполнения работы (результаты измерений и вычислений, представленные в виде таблиц, расчеты и т. д.);
- выводы.

Таблица 1.1

Классификация и МХ СИ

Классификационные признаки	Указать наименование и тип средства измерений по варианту задания
По видам (по техническому назначению)	
По виду выходной величины	
По форме представления информации (только для измерительных приборов)	
По назначению	
По метрологическому назначению	
Нормированные метрологические характеристики средств измерений	
Метрологические характеристики на лицевой панели средства измерений	

Таблица 1.2

Варианты заданий

Номер варианта	Средства измерений
1	Источник питания АТН-1232 Цифровой вольтметр В7-22А Мультиметр АМ-1097
2	Генератор ГЗ-109 Микрометр МК-25 Частотомер электронно-счетный РЧЗ-07
3	Стандартный образец Осциллограф DSO-Pro Рулетка
4	Магазин сопротивлений РЗЗ Аналоговый вольтметр ВЗ-38 Частотомер электронно-счетный РЧЗ-07
5	Генератор ГЗ-109 Штангенциркуль ШЦ1-125 Осциллограф DSO-Pro

Номер варианта	Средства измерений
6	Источник питания АТН-1232 Гигрометр психрометрический ВИТ-2 Вольтметр В7-38М
7	Концевые меры длины КМД Милливольтметр В3-39 Мультиметр М-68
8	Генератор Agilent Осциллограф DSO-Pro Микрометр МК-25
9	Гигрометр психрометрический ВИТ-2 Цифровой вольтметр В7-22А Штангенциркуль
10	Генератор Agilent Мультиметр М-68 Линейка измерительная до 300 мм

1.1. Классификация средств измерений и их метрологические характеристики

1.1.1. Классификация средств измерений

В Федеральном законе от 26.06.2008 № 102-ФЗ [1] под средством измерений (далее – СИ) понимается техническое средство, предназначенное для измерений.

В РМГ 29 [2] приведено дополненное определение средства измерений, указывающее на основное отличие от средств измерительной техники. **Средство измерений** – техническое средство, предназначенное для измерений и *имеющее нормированные (установленные) метрологические характеристики* [2].

В настоящее время используется огромное количество разнообразных средств измерений. Они отличаются по своему принципу работы, характеристикам и области применения. Однако для этого множества можно выделить некоторые общие признаки, присущие всем СИ независимо от области применения.

Классификация СИ **по техническому назначению** (по конструктивному исполнению) является основной и представлена на рис. 1.1.

Термины и определения основных классификационных признаков с примерами приведены в РМГ 29 [2]:

1. **Мера** – средство измерений, которое воспроизводит в процессе использования или постоянно хранит величины одного или более данных родов, с приписанными им значениями.

На практике выделяют следующие виды мер:

- **однозначная мера** – мера, воспроизводящая физическую величину одного размера (например, гиря 1 кг, конденсатор постоянной емкости);
- **многозначная мера** – мера, воспроизводящая физическую величину разных размеров (например, штриховая мера длины, конденсатор переменной емкости);
- **набор мер** – комплект мер разного размера одной и той же физической величины, предназначенных для применения на практике, как в отдельности, так и в различных сочетаниях (например, набор концевых мер длины);
- **магазин мер** – набор мер, конструктивно объединенных в единое устройство, в котором имеются приспособления для их соединения в различных комбинациях (например, магазин электрических сопротивлений).

В качестве частных случаев мер используются стандартные образцы. В соответствии с Федеральным законом от 26.06.2008 № 102-ФЗ [1] **стандартный образец** – образец вещества (материала) с установленными по результатам испытаний значениями одной и более величин, характеризующих состав или свойство этого вещества (материала).

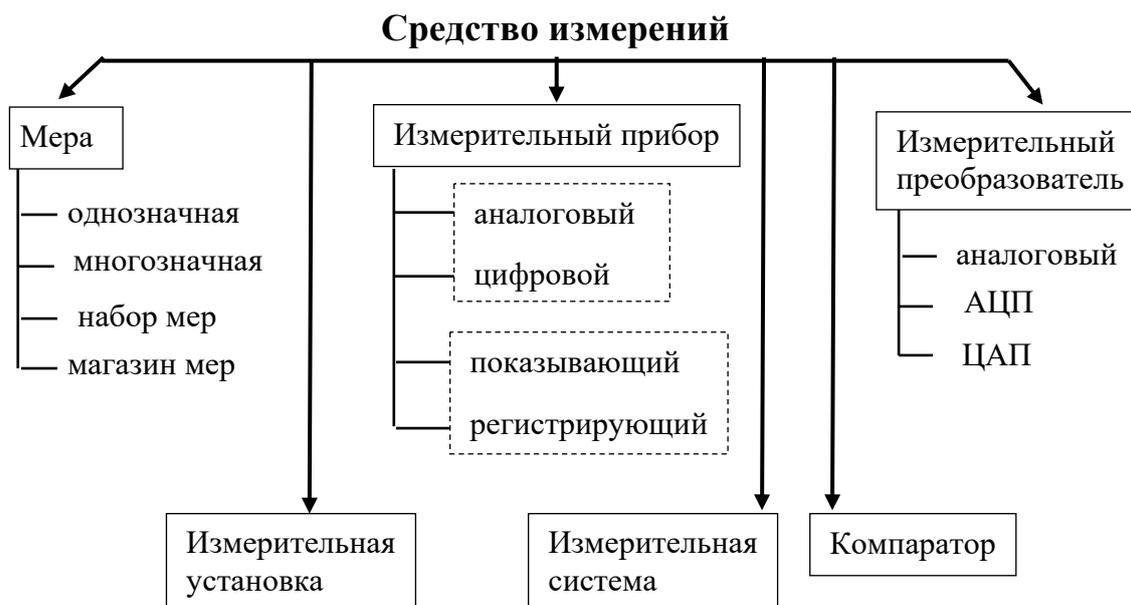


Рис. 1.1. Классификация средств измерений

2. **Измерительный прибор** – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия. Измерительный прибор, как правило, содержит устройство для преобразования измеряемой величины в сигнал измерительной информации и его индексации в форме,

наиболее доступной для восприятия. Во многих случаях устройство для индикации имеет шкалу со стрелкой или другим устройством, диаграмму с пером или цифровое табло, благодаря которым может быть произведен отсчет или регистрация значений величины.

В зависимости от вида выходной величины различают аналоговые и цифровые измерительные приборы.

Аналоговый измерительный прибор – это измерительный прибор, показания (или выходной сигнал) которого являются непрерывной функцией измеряемой величины (например, стрелочный вольтметр, стеклянный ртутный термометр).

Цифровой измерительный прибор – это измерительный прибор, показания которого представлены в цифровой форме. В цифровом приборе происходит преобразование входного аналогового сигнала измерительной информации в цифровой код и результат измерения отражается на цифровом табло.

По форме представления выходной величины (по способу индикации значений измеряемой величины) измерительные приборы различают на показывающие и регистрирующие измерительные приборы.

Показывающий измерительный прибор – измерительный прибор, в котором сигнал измерительной информации представлен в визуальной форме (микрометр, аналоговый или цифровой вольтметр).

Регистрирующий измерительный прибор – измерительный прибор, в котором предусмотрена регистрация показаний. Регистрация значений измеряемой величины может осуществляться в аналоговой или цифровой форме, в виде диаграммы, путем печатания на бумажной или магнитной ленте (термограф или, например, измерительный прибор, сопряженный с компьютером, дисплеем и устройством для печатания показаний).

3. **Измерительный преобразователь** – средство измерений или его часть, служащее для получения и преобразования информации об измеряемой величине в форму, удобную для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

Полученные в результате преобразования величина или измерительный сигнал, не доступны для непосредственного восприятия наблюдателем: они определяются через коэффициент преобразования.

Измерительный преобразователь или входит в состав какого-либо измерительного прибора (измерительной установки, измерительной системы), или применяется вместе с каким-либо средством измерений.

По характеру преобразования различают аналоговые, цифроаналоговые, аналого-цифровые преобразователи. По месту в измерительной цепи различают первичные и промежуточные преобразователи. Выделяют также масштабные и передающие преобразователи.

Разновидностью измерительного преобразователя также является чувствительный элемент (датчик, первичный измерительный преобразователь). **Чувствительный элемент** – измерительный преобразователь, на который непосредственно воздействует материальный объект носителем величины, подлежащий измерению.

4. Измерительная установка – совокупность функционально объединенных и расположенных в одном месте мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенная для измерений одной или нескольких величин.

Измерительную установку, применяемую для поверки, называют поверочной установкой. Измерительную установку, входящую в состав эталона, называют эталонной установкой. Некоторые большие измерительные установки называют измерительными машинами, предназначенными для точных измерений физических величин, характеризующих изделие.

Примерами таких средств измерений могут быть установка для измерений удельного сопротивления электротехнических материалов или установка для испытаний магнитных материалов.

5. Измерительная система – совокупность средств измерений и других средств измерительной техники, размещенных в разных точках объекта измерения, функционально объединенных с целью измерений одной или нескольких величин, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях.

В зависимости от назначения измерительные системы разделяют на измерительные информационные, измерительные контролирующие, измерительные управляющие системы и др.

Измерительную систему, перестраиваемую в зависимости от изменения измерительной задачи, называют гибкой измерительной системой.

Примерами измерительных систем могут быть измерительная система теплоэлектростанции, позволяющая получать измерительную информацию о различных величинах в разных энергоблоках и содержащая сотни измерительных каналов, или радионавигационная система для определения местоположения различных объектов, состоящая из ряда измерительно-вычислительных комплексов, разнесенных в пространстве на значительное расстояние друг от друга.

Измерительно-вычислительный комплекс – функционально объединенная совокупность средств измерений, ЭВМ и вспомогательных устройств, предназначенная для выполнения в составе измерительной системы конкретной измерительной задачи.

6. Компаратор – средство измерений, предназначенное для сличения мер однородных величин, измерительных преобразователей и измерительных приборов.

По метрологическому назначению все СИ подразделяются на эталоны, рабочие эталоны и рабочие СИ.

Эталон (единицы величины или шкалы измерений) – средство измерительной техники, предназначенное для воспроизведения, хранения и передачи единицы величины или шкалы измерений.

Конструкция эталона, его свойства и способ воспроизведения единицы определяются природой данной величины и уровнем развития измерительной техники в данной области измерений.

Эталон должен обладать, по крайней мере, тремя тесно связанными друг с другом существенными признаками – неизменностью, воспроизводимостью и сличаемостью.

Рабочий эталон – эталон, предназначенный для передачи единицы величины или шкалы измерений средствам измерений.

При необходимости рабочие эталоны подразделяют на разряды (1-й, 2-й, ..., n -й). В этом случае передачу единицы осуществляют через цепочку соподчиненных по разрядам рабочих эталонов. При этом от последнего рабочего эталона в этой цепочке единицу передают рабочему средству измерений.

Рабочее средство измерений – средство измерений, предназначенное для измерений, не связанных с передачей единицы другим средствам измерений.

По значимости измеряемой величины все СИ подразделяются на основные и вспомогательные средства измерений.

Основные средства измерений – СИ величины, значение которой необходимо получить в соответствии с измерительной задачей.

Вспомогательные средства измерений – СИ величины, влияние которой на основное средство измерений или объект измерений необходимо учитывать для получения результатов измерений требуемой точности (термометр для измерения температуры газа в процессе измерений объемного расхода этого газа).

1.1.2. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений

Под **метрологической характеристикой средств измерений** (МХ СИ) понимается характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений [2].

Каждое средство измерений имеет свои метрологические характеристики. МХ, установленные и прописанные в нормативной документации средства измерений, называются **нормируемые метрологические характеристики** (далее – НМХ СИ). НМХ СИ в основном приводятся в паспорте СИ, описании типа СИ и другой документации на СИ. Метро-

логические характеристики СИ, получаемые экспериментальным путем, например при проведении поверочных или калибровочных работ, называются **действительными метрологическими характеристиками СИ**.

Номенклатура и способы нормирования метрологических характеристик средств измерений приведены в ГОСТ 8.009 [3].

Все метрологические характеристики СИ можно разделить на группы:

- характеристики, влияющие на результат измерений (определяющие область применения СИ);
- характеристики, влияющие на точность измерений (точностные характеристики).

К основным метрологическим характеристикам, влияющим на результат измерений, относятся:

- диапазон измерений измерительных приборов;
- значение однозначной или многозначной меры;
- функция преобразования измерительного преобразователя;
- цена деления шкалы измерительного прибора или многозначной меры;
- вид выходного кода, число разрядов кода, цена единицы наименьшего разряда кода средств измерений, предназначенных для выдачи результатов в цифровом коде.

Диапазон измерений средства измерений (диапазон измерений) – множество значений величин одного рода, которые могут быть измерены данным средством измерений или измерительной системой с указанными инструментальной неопределенностью или указанными показателями точности при определенных условиях.

Значения величины, ограничивающие диапазон измерений снизу и сверху (слева и справа), называют соответственно **нижним пределом измерений** или **верхним пределом измерений**. Для мер – пределы воспроизведения величин.

Цена деления шкалы (цена деления) – разность значения величины, соответствующая двум соседним отметкам шкалы средства измерений.

Однозначные меры имеют номинальное и действительное значение воспроизводимой величины.

Номинальное значение величины – округленное или приближенное значение величины, приписанное средству измерений, которым следует руководствоваться при его применении.

Пример: резисторы с номинальным значением 1 Ом, гиря с номинальным значением 1 кг. Нередко номинальное значение указывают на мере.

Действительное значение меры – значение величины, приписанное мере на основании ее калибровки или поверки.

Пример: в состав первичного эталона единицы массы входит платиноиридиевая гиря с номинальным значением массы 1 кг, тогда как действительное значение ее массы составляет 1,000000087 кг, полученное в результате сличений с международным эталоном килограмма, хранящимся в Международном бюро мер и весов.

К точностным характеристикам СИ относят погрешность средства измерений, нестабильность, смещение нуля, класс точности и др.

Точность СИ указывает на качество самого СИ, отражающее близость к нулю его погрешности. Считается, что чем меньше погрешность, тем точнее средство измерений.

Погрешность СИ – это разность между показанием средства измерений (x_u) и истинным (действительным, опорным) значением (x_d) измеряемой величины.

$$\Delta x = x_u - x_d, \quad (1.1)$$

где x_u – измеренное значение величины с помощью СИ; x_d – действительное (опорное) значение величины.

В качестве x_d выступает либо номинальное значение (например, меры), либо значение величины, измеренной более точным (не менее чем на порядок, то есть в 10 раз) СИ. Чем меньше погрешность, тем точнее средство измерений.

Погрешности СИ могут быть классифицированы по ряду признаков, в частности:

- по отношению к условиям измерения – основные, дополнительные;
- способу выражения (по способу нормирования МХ) – абсолютные, относительные, приведенные.

Основная погрешность средства измерений – это погрешность средства измерений, применяемого в нормальных условиях.

Как правило, нормальными условиями эксплуатации СИ считаются:

- температура (293 ± 5) К или (20 ± 5) °С;
- относительная влажность воздуха (65 ± 15) % при 20 °С;
- напряжение в сети $220 \text{ В} \pm 10$ % с частотой $50 \text{ Гц} \pm 1$ %;
- атмосферное давление от 96 до 104 кПа.

Дополнительная погрешность средства измерений (дополнительная погрешность) – составляющая погрешности средства измерения, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений.

Пределы основной и дополнительной погрешностей могут выражаться в форме **абсолютных, приведенных** или **относительных погрешностей** в зависимости от характера изменения погрешностей в пределах диапазона измерений. Пределы допускаемой дополнительной

погрешности можно выражать в форме, отличной от формы выражения пределов допускаемой основной погрешности.

Абсолютная погрешность средства измерений – погрешность средства измерений Δx , выраженная в единицах измеряемой величины.

Абсолютная погрешность средства измерений определяется по формуле (1.1).

Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности могут быть заданы в виде

$$\Delta x = \pm a, \quad (1.2)$$

или

$$\Delta x = \pm(a + bx), \quad (1.3)$$

где Δx – пределы допускаемой абсолютной погрешности, выраженной в единицах измеряемой величины на входе (выходе) или условно в делениях шкалы; x – значение измеряемой величины на входе (выходе) средств измерений или число делений, отсчитанных по шкале; a, b – положительные числа, не зависящие от x .

Относительная погрешность средства измерений δ – погрешность средства измерений, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к результату измерений или к действительному значению измеренной величины. Относительная погрешность δ средства измерений вычисляется по формуле

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_u} \cdot 100 \%, \quad (1.4)$$

где δ – пределы допускаемой относительной основной погрешности, %; Δx – пределы допускаемой абсолютной погрешности, выраженной в единицах измеряемой величины на входе (выходе) или условно в делениях шкалы; x_u – значение измеряемой величины на входе (выходе) средств измерений или число делений, отсчитанных по шкале.

Пределы допускаемой относительной основной погрешности устанавливаются:

- если $\Delta x = \pm bx$, то в виде

$$\delta = \pm q, \quad (1.5)$$

где q – отвлеченное положительное число;

- если $\Delta x = \pm(a + bx)$, то в виде

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{x_k}{x} \right| - 1 \right) \right], \quad (1.6)$$

где x_k – больший (по модулю) из пределов измерений; c, d – положительные числа.

В обоснованных случаях пределы допускаемой относительной основной погрешности определяют по более сложным формулам либо в виде графика или таблицы.

Приведенная погрешность средства измерения γ – погрешность средства измерений, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины (нормирующему значению), постоянному во всем диапазоне измерений или в части диапазона. Приведенная погрешность γ средства измерений определяется по формуле

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_N} \cdot 100 \%, \quad (1.7)$$

где γ – пределы допускаемой приведенной основной погрешности, %; Δx – пределы допускаемой абсолютной основной погрешности, устанавливаемые по формуле (1.2) или (1.3); x_N – нормирующее значение, выраженное в тех же единицах, что и абсолютная погрешность СИ Δ .

Пределы допускаемой приведенной основной погрешности следует устанавливать в виде

$$\gamma = \pm p, \quad (1.8)$$

где p – отвлеченное положительное число, выбираемое из ряда $1 \cdot 10^n$; $1,5 \cdot 10^n$; $(1,6 \cdot 10^n)$; $2 \cdot 10^n$; $2,5 \cdot 10^n$; $(3 \cdot 10^n)$; $4 \cdot 10^n$; $5 \cdot 10^n$; $6 \cdot 10^n$ ($n=1, 0, -1, -2$ и т. д.).

Нормирующее значение x_N принимается равным:

- конечному значению рабочей части шкалы, если нулевая отметка находится на краю или вне рабочей части шкалы (равномерной или степенной);
- сумме конечных значений шкалы (без учета знака), если нулевая отметка внутри шкалы;
- модулю разности пределов измерений для СИ, шкала которых имеет условный нуль;
- длине шкалы или ее части, соответствующей диапазону измерений, если она существенно неравномерна. В этом случае абсолютную погрешность, как и длину шкалы, необходимо выражать в миллиметрах.

Погрешности СИ в зависимости от изменения измеряемой величины во времени бывают статические и динамические.

Статическая погрешность СИ – погрешность средства измерений, применяемого для измерения постоянной величины.

Динамическая погрешность СИ – разность между погрешностью средства измерений в динамическом режиме и его статической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент времени.

Стабильность СИ – это свойство средства измерений, отражающее неизменность во времени его метрологических характеристик.

Погрешность нуля – это погрешность средства измерений в контрольной точке, когда заданное значение измеряемой величины равно нулю.

Характеристики, введенные ГОСТ 8.009 [3], наиболее полно описывают метрологические свойства СИ. Однако в настоящее время в эксплуатации находится достаточно большое количество СИ, метрологические характеристики которых нормированы несколько по-другому, а именно на основе классов точности.

Класс точности – обобщенная характеристика данного типа средств измерений, как правило, отражающая их уровень точности и выражаемая точностными характеристиками средств измерений.

Класс точности дает возможность судить о значениях инструментальных погрешностей или инструментальных неопределенностей СИ данного типа при выполнении измерений. Обозначение классов точности СИ (прил. Б) присваивают в соответствии с ГОСТ 8.401 [4].

Обозначение класса точности наносят на циферблаты, щитки и корпуса СИ, приводят в нормативной документации на СИ.

Номенклатура нормируемых метрологических характеристик СИ определяется назначением, условиями эксплуатации и многими другими факторами. Нормы на основные метрологические характеристики средств измерений приводятся в стандартах, в технических условиях и эксплуатационной документации на СИ.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите виды средств измерений по техническому назначению.
2. Охарактеризуйте каждый вид СИ по техническому назначению.
3. Что такое метрологические характеристики СИ?
4. Что такое нормируемые и действительные метрологические характеристики и в чем их отличия?
5. На какие группы подразделяются метрологические характеристики СИ?
6. Назовите метрологические характеристики, определяющие область применения СИ и качество (точность) измерений.
7. Назовите виды погрешностей СИ в зависимости от условий измерений.
8. Назовите виды средств измерений по метрологическому назначению.
9. Какую функцию выполняют эталоны?
10. В чем различие в назначении рабочих СИ и рабочих эталонов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

Косвенные однократные измерения

Цель:

- освоить методы проведения однократных косвенных измерений;
- освоить алгоритм обработки результатов измерений, полученных при косвенных измерениях;
- освоить правила представления (записи) и интерпретации результатов проведенных измерений;
- приобрести практические навыки работы с различными по точности средствами измерений;
- приобрести навыки выявления возможных источников и причин возникновения погрешностей.

Используемое оборудование и материалы (может быть использовано другое оборудование и исследуемые объекты): штангенциркуль; микрометр; линейка; объекты измерений; источник питания АТН-1232; мультиметр АМ-1097; универсальный вольтметр В7-22А; весы; резистор; лабораторный макет.

Программа работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом, приведенным в п. 2.1.
2. Провести измерения в соответствии с вариантом задания (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Варианты заданий

Номер варианта	Измеряемая величина и формула	Используемые средства измерений
1	Объем цилиндра $V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{4}$	линейка, штангенциркуль, микрометр
2	Объем шара $V = \frac{\pi \cdot d^3}{4},$ где d – диаметр	линейка, штангенциркуль, микрометр
3	Объем шара $V = \frac{L^3}{6 \cdot \pi^3},$ где L – длина окружности	линейка, штангенциркуль, микрометр

Номер варианта	Измеряемая величина и формула	Используемые средства измерений	
4	Объем параллелепипеда $V = a \cdot b \cdot c$, где a, b, c – высота, ширина, длина соответственно	линейка, штангенциркуль, микрометр	
5	Объем усеченного конуса $V = \frac{\pi \cdot h \cdot (D^2 + d^2 + D \cdot d)}{12}$, где D, d – большой и малый диаметры соответственно	линейка, штангенциркуль, микрометр	
6	Объем усеченного конуса $V = \frac{\pi \cdot h \cdot (D^2 + d^2 + D \cdot d)}{12}$, где D, d – большой и малый диаметры соответственно	микрометр, штангенциркуль	весы $V = \frac{m}{\rho}$, удельное сопротивление для стали
7	Объем полого цилиндра $V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot h}{4} - \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{4}$, где D, d – внешний и внутренний диаметры соответственно	линейка, штангенциркуль, цифровой штангенциркуль	
8	Объем полого цилиндра $V = \pi \cdot D \cdot h \cdot a - \pi \cdot a^2 \cdot h$, где D – внешний; a – толщина стенки цилиндра	линейка, штангенциркуль, микрометр	
9	Сопротивление проводника $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$, где ρ – удельное сопротивление провода; l – длина провода; $S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ – площадь поперечного сечения провода	линейка, штангенциркуль, микрометр	

Окончание табл. 2.1

Номер варианта	Измеряемая величина и формула	Используемые средства измерений	
		10	$S = \rho \cdot \frac{l}{R},$ где ρ – удельное сопротивление провода; l – длина провода; R – сопротивление проводника
11	$\rho = \frac{R \cdot S}{l},$ где ρ – удельное сопротивление провода; l – длина провода; R – сопротивление проводника	линейка, штангенциркуль, микрометр, мультиметр	
12	$I = \frac{U}{R},$ где U – напряжение на резисторе R ; R – сопротивление резистора	источник питания, мультиметр,	генератор напряжений, вольтметр

Для измерения геометрических величин необходимо (на примере определения объема цилиндра):

- Произвести однократные измерения диаметра и высоты цилиндра средствами измерений различной точности: штангенциркулем, микрометром и линейкой. Результаты измерений записать в табл. 2.2 (составляем таблицу в соответствии со своим вариантом задания).

Таблица 2.2

Пример таблицы результатов измерений

Объект измерения	Средство измерений	Результаты измерений			Погрешность результата измерений				
		Диаметр d , мм	Высота h , мм	Объем V , мм ³	Δd , мм	Δh , мм	δ_π	δ_V , %	ΔV , мм ³
Малый цилиндр	Штангенциркуль								
	Результат измерений при $P=0,95$: $V = (V \pm \Delta V)$ мм ³								
	Микрометр								
	Результат измерений при $P=0,95$: $V = (V \pm \Delta V)$ мм ³								
	Линейка								
Результат измерений при $P=0,95$: $V = (V \pm \Delta V)$ мм ³									

- Определить объем цилиндра, используя функциональную зависимость:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{4}, \quad (2.1)$$

где $\pi = 3,14$ – числовой коэффициент, представляющий собой иррациональное число; d – измеренный диаметр цилиндра, мм; h – измеренная высота цилиндра, мм.

- Оценить погрешность результатов измерений. Погрешность измерения диаметра и высоты цилиндра соответствует погрешности используемых средств измерений. Погрешности средств измерений можно взять из документации: паспорт на СИ, нормативный документ или описание типа. Данные внести в табл. 2.2.

Оценить относительную погрешность измерений, выраженную в относительных единицах:

$$\delta_V = \frac{\Delta V}{V}, \quad (2.2)$$

где ΔV – абсолютная погрешность измерения объема цилиндра; V – вычисленное значение объема цилиндра.

Для определения относительной погрешности измерений δ_V необходимо формулу (2.1) продифференцировать и преобразовать (преобразование формулы привести в отчете) в удобную для расчета, применив формулу (2.16), приведенную в п. 2.1.3.

При косвенных измерениях для нахождения величины используются формулы, нередко содержащие постоянные величины (константы). В большинстве случаев для упрощения вычислений применяется округленное или принятое числовое значение таких констант. Однако некоторые постоянные величины содержат больше чисел и таким образом используемое на практике числовое значение является приближенным и вносит вклад в общую погрешность измерений.

В полученной формуле после дифференцирования появится постоянная величина π , которая на практике принята равной 3,14, а на самом деле является приближенным числом $\pi = 3,14159265359$. В связи с этим для нахождения $\frac{\Delta \pi}{\pi}$ необходимо применить правило определения погрешности записи (округления) числа, которое приведено в п. 2.1.4.

Из полученной формулы необходимо выразить абсолютную погрешность измерения объема цилиндра, которая будет соответствовать формуле:

$$\Delta V = \delta_V \cdot V, \text{ мм}^3. \quad (2.3)$$

Данные записать в табл. 2.2.

- Округлить погрешности измерений и записать результат измерений объёмов цилиндров:

$$V_{\text{цил}} = (V \pm \Delta V), \text{ мм}^3. \quad (2.4)$$

Для того чтобы записать окончательный результат косвенных измерений, необходимо произвести округление погрешности измерений ΔV в соответствии с МИ 1317 [8] и ГОСТ Р 8.736 [6], согласовать числовые значения результата и погрешности измерений (см. прил. В). Данные занести в табл. 2.2.

- Изобразить на рисунках области, в которых находятся результаты измерений объёмов, полученные разными средствами измерений для каждого из цилиндров. Пример приведен на рис. 2.1.

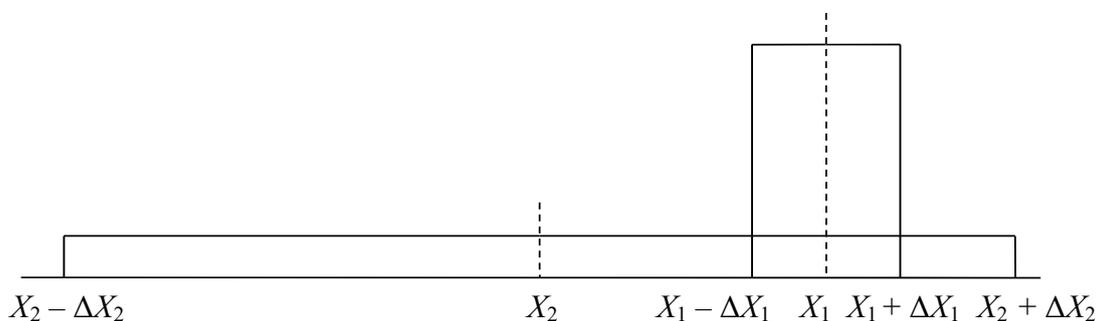


Рис. 2.1. Пример рисунка

Для измерения электрических величин необходимо (на примере определения силы электрического тока):

- Произвести однократные измерения напряжения на сопротивлении и номинального значения сопротивления средствами измерений различной точности: мультиметром, вольтметром. Результаты измерений записать в табл. 2.3 (составляем таблицу в соответствии со своим вариантом).

Таблица 2.3

Пример таблицы для результатов измерений и расчетов

Средство измерений	Результаты измерений			Погрешность результата измерений			
	Напряжение, U , В	Сопротивление, R , Ом	Ток, I , А	ΔU , В	ΔR , Ом	δ_I , %	ΔI , А
Мультиметр АМ-1097							
Результат измерений при $P = 0,95$: $I_1 = (I \pm \Delta I)$, А							
Универсальный вольтметр В7-22А							
Результат измерений при $P = 0,95$: $I_1 = (I \pm \Delta I)$, А							

Для проведения эксперимента необходимо собрать схему с использованием лабораторного макета (рис. 2.2).

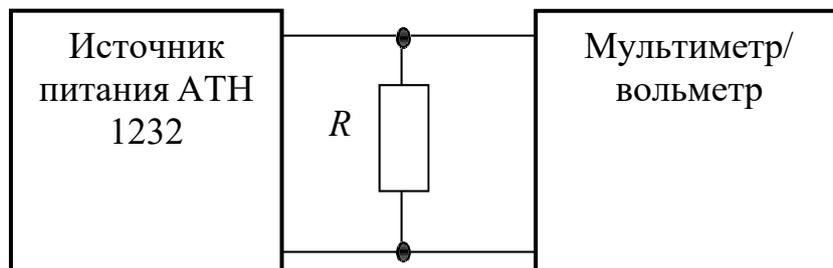


Рис. 2.2. Схема подключения средств измерений

На источнике питания АТН-1232 установить значения напряжения в диапазоне (0...30) В (задается преподавателем).

Измерить напряжение на сопротивлении мультиметром АМ-1097. Отключить источник питания АТН-1232 от лабораторного макета. Перевести мультиметр АМ-1097 в режим измерения сопротивления и определить номинальное значение сопротивления.

Аналогичным способом произвести измерения напряжения и сопротивления с использованием вольтметра В7-22 А. Полученные результаты занести в табл. 2.3.

- Определить постоянный ток, используя функциональную зависимость:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (2.5)$$

где U – напряжение на резисторе R ; R – сопротивление резистора.

- Оценить погрешность результата измерений. Перечислить и определить составляющие систематической погрешности прямых однократных измерений напряжения и сопротивления для двух экспериментов. Полученные данные систематической погрешности занести в табл. 2.3.

Оценить относительную погрешность измерений, выраженную в относительных единицах:

$$\delta_I = \frac{\Delta I}{I}. \quad (2.6)$$

Для определения относительной погрешности измерений δ_I необходимо формулу (2.5) продифференцировать и преобразовать (преобразование формулы привести в отчете) в удобную для расчета формулу, используя формулу (2.16), приведенную в п. 2.1.3.

После дифференцирования в полученной формуле ΔU , ΔR будут соответствовать погрешностям средств измерений, используемых при измерении данных величин.

- Оценить погрешность вычисления сопротивления по формуле

$$\Delta I = \delta_I \cdot I. \quad (2.7)$$

- Округлить погрешности измерений и записать результат измерений объёмов цилиндров:

$$I = (I \pm \Delta I) A. \quad (2.8)$$

Для того чтобы записать окончательный результат косвенных измерений, необходимо произвести округление погрешности измерений ΔI в соответствии с МИ 1317 [8] и ГОСТ Р 8.736 [6], согласовать числовые значения результата и погрешности измерений (см. прил. В). Данные занести в табл. 2.3.

- Изобразить на рисунках области, в которых находятся результаты измерений силы тока, полученные разными средствами измерений (см. пример на рис. 2.2).

3. Составить отчет о проделанной работе, который должен включать:

- титульный лист (образец приведен в прил. А);
- цель работы;
- используемое оборудование и материалы (привести оборудование по варианту задания);
- ход выполнения работы (формулы, расчеты, таблиц с результатами измерений, рисунки, выводы формул и т. д.);
- выводы (обязательно проанализировать причины появления систематических погрешностей).

2.1. Косвенные измерения

2.1.1. Классификация измерений

В соответствии с Федеральным законом от 26.06.2008 № 102-ФЗ под **измерениями** понимается совокупность операций, выполняемых для определения количественного значения величины [1].

Измерения являются основным источником информации о соответствии продукции требованиям нормативной документации. Только достоверность и точность измерительной информации обеспечивают правильность принятия решений о качестве продукции на всех уровнях производства, при испытаниях изделий, в научных экспериментах и т. д.

Измерения можно проклассифицировать по нескольким признакам (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Классификация измерений

Измерения классифицируются:

- **по числу наблюдений:**
 - **однократное измерение** – измерение, выполняемое один раз. Недостатком этих измерений является возможность грубой ошибки – промаха;
 - **многократное измерение** – измерение величины одного и того же размера, результат которого получен из нескольких (менее трех измерений в соответствии с [5]), следующих друг за другом измерений. Многократные измерения проводят с целью уменьшения влияния случайных факторов на результат измерений;
- **по характеру точности (по условиям измерения):**
 - **равноточные измерения** – ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью;
 - **неравноточные измерения** – ряд измерений какой-либо величины, выполненных несколькими различающимися по точности средствами измерений и (или) в разных условиях;
- **по выражению результата измерения:**
 - **абсолютное измерение** – измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант (например, измерение силы $F = m \cdot g$ основано на измерении основной величины – массы m и использовании физической постоянной – ускорения свободного падения g (в точке измерения массы));
 - **относительное измерение** – измерение отношения одноименных величин или функций этого отношения;

- **по способу получения результата измерения:**

- *прямое измерение* – измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений (например, измерение массы на весах, измерение длины детали микрометром);

- *косвенное измерение* – определение искомого значения величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной;

- *совокупные измерения* – проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях (например, значение массы отдельных гирь набора определяют по известному значению массы одной из гирь или по результатам измерений (сравнений) масс различных сочетаний гирь);

- *совместные измерения* – проводимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для определения зависимости между ними;

- **по характеру зависимости измеряемой величины от времени:**

- *статическое измерение* – измерение величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения. Измеряемая величина остается постоянной во времени;

- *динамическое измерение* – измерение, при котором средства измерений используют в динамическом режиме. Под динамическим режимом понимается режим применения средства измерений, связанный с изменениями условий (факторов) за время проведения измерительного эксперимента, которые влияют на результат измерения (оценку измеряемой величины), в том числе изменение измеряемой величины за время измерения.

Измерения можно классифицировать **по метрологическому назначению** используемых средств измерений:

- **технические измерения** – измерения с помощью рабочих средств измерений;

- **метрологические измерения** – измерения при помощи эталонных средств измерений с целью воспроизведения единиц физических величин для передачи их размера рабочим средствам измерений.

2.1.2. Погрешности, возникающие при измерениях

В зависимости от характера проявления различают систематическую (Δ_C) и случайную (ε) составляющие погрешности измерений, а также грубые погрешности (промахи).

Систематическая погрешность измерения (Δ_C) – это составляющая погрешности результата измерений, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.

Случайная погрешность измерения (ε) – составляющая погрешности результата измерений, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же физической величины.

Грубые погрешности (промахи) возникают из-за ошибочных действий оператора, неисправности СИ или резких изменений условий измерений (например, внезапное падение напряжения в сети электропитания).

Систематическую погрешность можно уменьшить. Если систематическая погрешность возникает в результате известного действия влияющей величины на результат измерения, то это влияние можно количественно оценить и внести поправку или поправочный коэффициент для его компенсации. После внесения таких поправок математическое ожидание погрешности, обусловленной систематическим эффектом, становится равным нулю.

В зависимости от вида **источника возникновения погрешности** рассматриваются следующие составляющие общей погрешности измерений:

- **Погрешности метода** – это погрешности, обусловленные несовершенством метода измерений, приемами использования средств измерения, некорректностью расчетных формул и округления результатов, проистекающие от ошибочности или недостаточной разработки принятой теории метода измерений в целом или от допущенных упрощений при проведении измерений.

- **Инструментальные погрешности** – это погрешности, зависящие от погрешностей применяемых средств измерений.

- Исследование инструментальных погрешностей является предметом специальной дисциплины – теории точности измерительных устройств.

- **Субъективные погрешности** – это погрешности, обусловленные индивидуальными особенностями наблюдателя. Такого рода погрешности вызываются, например, запаздыванием или опережением при регистрации сигнала, неправильным отсчетом десятых долей деления шкалы, асимметрией, возникающей при оценке центра интервала между двумя делениями, и т. д.

Виды погрешности по способу числового выражения:

- **Абсолютная погрешность** измерения (Δx) представляет собой разность между измеренной величиной и действительным значением этой величины, то есть

$$\Delta x = x_u - x_d, \quad (2.9)$$

где x_u – измеренное значение величины с помощью СИ; x_d – опорное (действительное) значение величины.

В качестве x_d выступает либо номинальное значение (например, меры), либо значение величины, измеренной более точным (не менее чем на порядок, то есть в 10 раз) СИ.

- **Относительная погрешность** измерения (δ) представляет собой отношение абсолютной погрешности измерения к действительному значению измеряемой величины. Относительная погрешность может выражаться в относительных единицах (в долях) или процентах:

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_d}, \text{ или } \delta = \frac{\Delta x}{x_d} \cdot 100 \%. \quad (2.10)$$

Относительная погрешность показывает точность проведенного измерения.

2.1.3. Оценивание погрешности измерений

Однократные измерения. Подавляющее большинство технических измерений являются однократными. Выполнение однократных измерений обосновывают следующими факторами [5]:

- производственная необходимость (разрушение образца, невозможность повторения измерения, экономическая целесообразность);
- возможность пренебрежения случайными погрешностями;
- случайные погрешности существенны, но доверительная граница погрешности результата измерения не превышает допустимой погрешности измерений;
- стандартная неопределенность, оцениваемая по типу А, существенна, но расширенная неопределенность не превышает заданного предела.

За результат однократного измерения принимают одноединственное значение отсчета показания прибора. Будучи случайным, однократный отсчет x включает в себя инструментальную, методическую и личную составляющие погрешности измерения, в каждой из которой могут быть выделены систематические и случайные составляющие погрешности.

Составляющими погрешности результата однократного измерения являются погрешности СИ, метода оператора, а также погрешности, обусловленные изменением условий измерения.

Погрешность результата однократного измерения чаще всего представлена систематическими и случайными погрешностями.

Погрешность СИ определяют на основании их метрологических характеристик, которые должны быть указаны в нормативных и технических документах.

Погрешности метода и оператора должны быть определены при разработке и аттестации конкретной методики измерений. Личные погрешности при однократных измерениях обычно предполагаются малыми и не учитываются.

Косвенные измерения. В методических рекомендациях МИ 2083 [6] приводится полный алгоритм обработки результатов измерений, полученных при косвенных измерениях.

При косвенных измерениях искомое значение величины находят расчетом на основе прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной известной зависимостью:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2.11)$$

где x_1, x_2, \dots, x_n – подлежащие прямым измерениям аргументы функции y .

Результатом косвенного измерения является оценка величины y , которую находят подстановкой в формулу (2.11) измеренных значений аргументов x_i .

Поскольку каждый из аргументов x_i измеряется с некоторой погрешностью, то задача оценивания погрешности результата сводится к суммированию погрешностей измерения аргументов. Однако особенность косвенных измерений состоит в том, что вклад отдельных погрешностей измерения аргументов в погрешность результата зависит от вида функции (2.11).

Для оценки погрешностей существенным является разделение косвенных измерений на линейные и нелинейные косвенные измерения.

При линейных косвенных измерениях уравнение измерений имеет вид

$$y = \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i, \quad (2.12)$$

где b_i – постоянные коэффициенты при аргументах x_i .

Результат линейного косвенного измерения вычисляют по формуле (2.12), подставляя в неё измеренные значения аргументов.

Погрешности измерения аргументов x_i могут быть заданы своими границами Δx_i .

При числе аргументов меньше пяти простую оценку погрешности результата Δy получают простым суммированием предельных погрешностей (без учета знака), то есть подстановкой границ $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ в выражение:

$$\Delta y = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_n. \quad (2.13)$$

Однако эта оценка является излишне завышенной, поскольку такое суммирование фактически означает, что погрешности измерения всех аргументов одновременно имеют максимальное значение и совпадают по знаку. Вероятность такого совпадения практически равна нулю. Для нахождения более реалистичной оценки переходят к статическому суммированию погрешности аргументов по формуле

$$\Delta y = k \sqrt{\sum_{i=1}^n b_i^2 \cdot x_i^2}, \quad (2.14)$$

где k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью ($P=0,9$ при $k=1,0$; $P=0,95$ при $k=1,1$; $P=0,99$ при $k=1,4$).

Нелинейные косвенные измерения – любые другие функциональные зависимости, отличные от формулы (2.11).

При сложной функции (2.11), в особенности если это функция нескольких аргументов, определение закона распределения погрешности результата связано со значительными математическими трудностями. Поэтому в основе приближенного оценивания погрешности нелинейных косвенных измерений лежит линеаризация функции (2.11) и дальнейшая обработка результатов, как при линейных измерениях.

Запишем выражение для полного дифференциала функции y через частные производные по аргументам x_i :

$$dy = \frac{\partial y}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_n} dx_n. \quad (2.15)$$

По определению полный дифференциал функции – это приращение функции, вызванное малыми приращениями её аргументов.

Учитывая, что погрешности измерения аргументов всегда являются малыми величинами по сравнению с номинальными значениями аргументов, можно заменить в формуле (2.15) дифференциалы аргументов dx_n на погрешность измерений Δx_n , а дифференциал функции dy – на погрешность результата измерения Δy :

$$\Delta y = \frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n. \quad (2.16)$$

Если проанализировать формулу (2.16), то можно получить *простые правила оценивания погрешности результата нелинейного косвенного измерения*:

- если результат измерений получается перемножением измерений $y = x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n$ или делений измерений $y = \frac{x_1}{x_2}$, то для составления полной относительной погрешности складываются относительные погрешности каждого измерения $\partial y = \partial x_1 + \partial x_2 + \dots + \partial x_n$, где $\partial y = \frac{\Delta y}{y}$;

- если результат измерений получается суммированием измерений $y = x_1 + x_2$ или вычитанием измерений $y = x_1 - x_2$, то для составления полной погрешности складываются абсолютные погрешности каждого измерения $\Delta y = \Delta x_1 + \Delta x_2$;

- если результат измерений возведен в степень, то для получения полной относительной погрешности показатель степени умножается на относительную погрешность измерения.

2.1.4. Погрешность записи (округления) числа

Погрешность записи числа определяется как отношение половины единицы младшего разряда числа к значению числа.

Например, для нормального ускорения падающих тел $g = 9,807 \text{ м/с}^2$, единица младшего разряда равна 0,001, следовательно, погрешность записи числа 9,807 будет равна:

$$\delta = \frac{0,001 / 2}{9,807} = 5,1 \cdot 10^{-4}. \quad (2.17)$$

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите основные классификационные признаки измерений.
2. По каким признакам классифицируются погрешности измерения?
3. Назовите и охарактеризуйте основные виды погрешностей измерений.
4. Как определить погрешность записи числа?
5. Как определить погрешность результата косвенного измерения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

Обработка результатов совокупных однократных измерений

Цель:

- получение практических навыков работы с измерительными приборами различной точности: мультиметр АМ-1097, вольтметр В7-22А, мультиметр 832;
- получение практических навыков обработки результатов совокупных однократных измерений.

Используемое оборудование и материалы (может быть использовано другое оборудование и исследуемые объекты): лабораторный макет; мультиметр АМ-1097; вольтметр В7-22А; мультиметр 832.

Программа работы:

1. Изучить самостоятельно принцип действия, технические характеристики и порядок выполнения измерений с помощью используемых средств измерений;
2. Определить метрологические характеристики средств измерений;
3. Собрать схему измерений с использованием лабораторного макета;
4. Произвести измерения в соответствии с рис. 3.1. При этом измерения будут проходить по одному резистору. Данные занести в табл. 3.1.
5. Рассчитать погрешности проведенных измерений. Полученные результаты измерений занести в табл. 3.1.
6. Оформить отчёт по лабораторно-практическому занятию в соответствии с установленными требованиями СТО ТПУ.

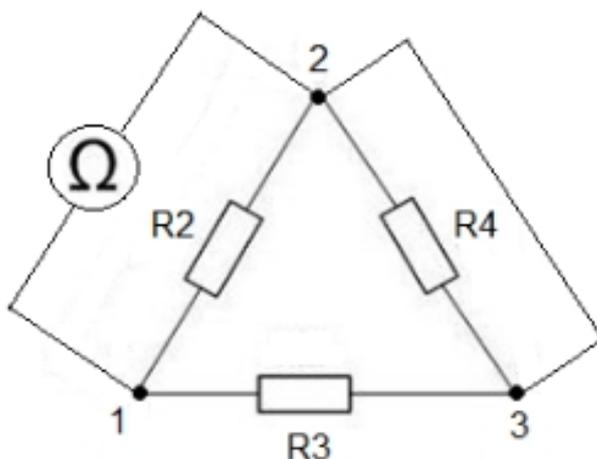


Рис. 3.1. Электрическая схема для измерения сопротивления совокупным методом

Таблица 3.1

Полученные данные

Данные	АМ-1097	В7-22А	М-832
Измеренное сопротивление R_{12}			
Измеренное сопротивление R_{23}			
Измеренное сопротивление R_{31}			
Расчетное значение R_2			
Расчетное значение R_3			
Расчетное значение R_4			
Погрешность ΔR_2			
Результат измерений $(R_2 \pm \Delta R_2)$, кОм			
Погрешность ΔR_3			
Результат измерений $(R_3 \pm \Delta R_3)$, кОм			
Погрешность ΔR_4			
Результат измерений $(R_4 \pm \Delta R_4)$, кОм			

Пример нахождения измеренного значения и расчета погрешности при совокупных измерениях. Произведены измерения сопротивлений в соответствии со схемой (рис. 3.1). Получены значения сопротивлений $G_{12} = 3,9465$ кОм; $G_{23} = 4,2406$ кОм; $G_{13} = 5,490$ кОм.

Для треугольного резистивного моста запишем систему уравнений, которая будет иметь вид

$$\begin{cases} \frac{1}{G_{12}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2}; \\ \frac{1}{G_{23}} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_2}; \\ \frac{1}{G_{13}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}. \end{cases} \quad (3.1)$$

Для облегчения решения задачи заменим $G_{23} = A$, $G_{13} = B$, $G_{12} = C$.
Выполнив преобразования, находим необходимые значения сопротивления резисторов:

$$R_4 = \frac{2 \cdot A \cdot B \cdot C}{A \cdot C - B \cdot C + B \cdot A} = 10,0139 \text{ кОм};$$

$$R_3 = \frac{2 \cdot A \cdot B \cdot C}{B \cdot C - B \cdot A + C \cdot A} = 12,05246 \text{ кОм};$$

$$R_2 = \frac{2 \cdot A \cdot B \cdot C}{A \cdot B - A \cdot C + B \cdot C} = 6,51348 \text{ кОм}.$$

Погрешности результатов измерений рассчитаем по формуле

$$\Delta R_i = k \cdot \sqrt{\left(\frac{df}{dR_{23}}\right)^2 \cdot (\Delta R_{23})^2 + \left(\frac{df}{dR_{13}}\right)^2 \cdot (\Delta R_{13})^2 + \left(\frac{df}{dR_{12}}\right)^2 \cdot (\Delta R_{12})^2}. \quad (3.2)$$

Таким образом, проведя дифференцирование, находим погрешности измерений сопротивлений по формулам:

$$\Delta R_4 = k \cdot \sqrt{\left(\frac{-2 \cdot B^2 \cdot C^2}{(A \cdot B - B \cdot C + A \cdot C)^2}\right)^2 \cdot (\Delta A)^2 + \left(\frac{2 \cdot A^2 \cdot C^2}{(A \cdot B - B \cdot C + A \cdot C)^2}\right)^2 \cdot (\Delta B)^2 + \left(\frac{2 \cdot B^2 \cdot A^2}{(A \cdot B - B \cdot C + A \cdot C)^2}\right)^2 \cdot (\Delta C)^2};$$

$$\Delta R_3 = k \cdot \sqrt{\left(\frac{2 \cdot B^2 \cdot C^2}{(A \cdot B - B \cdot C + A \cdot C)^2}\right)^2 \cdot (\Delta A)^2 + \left(\frac{-2 \cdot A^2 \cdot C^2}{(A \cdot B - B \cdot C + A \cdot C)^2}\right)^2 \cdot (\Delta B)^2 + \left(\frac{2 \cdot B^2 \cdot A^2}{(A \cdot B - B \cdot C + A \cdot C)^2}\right)^2 \cdot (\Delta C)^2};$$

$$\Delta R_2 = k \cdot \sqrt{\left(\frac{2 \cdot B^2 \cdot C^2}{(-A \cdot B - B \cdot C + A \cdot C)^2}\right)^2 \cdot (\Delta A)^2 + \left(\frac{2 \cdot A^2 \cdot C^2}{(-A \cdot B - B \cdot C + A \cdot C)^2}\right)^2 \cdot (\Delta B)^2 + \left(\frac{-2 \cdot B^2 \cdot A^2}{(-A \cdot B - B \cdot C + A \cdot C)^2}\right)^2 \cdot (\Delta C)^2},$$

где ΔA , ΔB , ΔC – абсолютные погрешности A , B , и C соответственно – рассчитываются по формулам, которые указаны в паспорте на средства измерений.

Рассмотрим расчет погрешности для мультиметра М-832. В паспорте на данное средство измерений указана погрешность, которая приведена ниже:

$$\Delta A = \pm(0,002 \cdot A + 3 \cdot \text{отп}), \text{ кОм};$$

$$\Delta B = \pm(0,002 \cdot B + 3 \cdot \text{отп}), \text{ кОм};$$

$$\Delta C = \pm(0,002 \cdot C + 3 \cdot \text{отп}), \text{ кОм}.$$

Подставив все расчёты в формулы, получим:

$$\Delta R_4 = \pm 0,03805 \text{ кОм}, \Delta R_3 = \pm 0,06472 \text{ кОм}, \Delta R_2 = \pm 0,02097 \text{ кОм}.$$

Запишем результаты измерений, выполнив все необходимые округления, в следующем виде:

$$R_4 = (10,014 \pm 0,041) \text{ кОм};$$

$$R_3 = (12,05 \pm 0,06) \text{ кОм};$$

$$R_2 = (6,514 \pm 0,0211) \text{ кОм}.$$

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите отличия совокупных измерений от совместных.
2. Дайте определение понятию «измерение».
3. Чем обуславливается погрешность при совокупных измерениях?
4. Что такое однократные измерения?
5. Как определить нормированные метрологические характеристики средств измерений?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

Обработка результатов прямых многократных измерений

Цель:

- приобретение навыков применения средств измерений и экспериментального определения их основных классификационных признаков;
- изучение и освоение вероятностно-статистического метода обработки результатов многократных наблюдений;
- приобретение навыков математической обработки результатов прямых равноточных измерений с многократными наблюдениями в соответствии с ГОСТ 8.736 и представления результата измерений в соответствии с МИ 1317.

Используемое оборудование и материалы (может быть использовано другое оборудование и исследуемые объекты): лабораторный макет; мультиметр АМ-1097.

Программа работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом, приведенным в п. 4.1.
2. Заполнить для применяемых средств измерений табл. 4.1, воспользовавшись технической документацией на СИ и вспомнив теоретический материал из п. 1.1.

Таблица 4.1

Классификационные признаки средств измерений

Классификационные признаки	Указать наименование и тип средства измерений по варианту задания
По видам (по техническому назначению)	
По виду выходной величины	
По форме представления информации (только для измерительных приборов)	
По назначению	
По метрологическому назначению	
Нормированные метрологические характеристики	

3. Собрать схему для измерения номинальных значений сопротивлений.

Произвести ряд независимых многократных наблюдений измеряемой величины. Результаты записать в табл. 4.2 с указанием наименования величины и единицы измерения.

Таблица 4.2

Результаты прямых многократных измерений сопротивления

n_i	x_i	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	Вариационный ряд	Границы интервалов группирования	n_j	\bar{n}_j
1	x_1	$(x_1 - \bar{x})$	$(x_1 - \bar{x})^2$	x_{\min}			
2	x_2	$(x_2 - \bar{x})$	$(x_2 - \bar{x})^2$...			
3	x_3	$(x_3 - \bar{x})$	$(x_3 - \bar{x})^2$...			
4	x_4	$(x_4 - \bar{x})$	$(x_4 - \bar{x})^2$...			
5	x_5	$(x_5 - \bar{x})$	$(x_5 - \bar{x})^2$...			
...			
...			
...			
...			
30	x_n	$(x_n - \bar{x})$	$(x_n - \bar{x})^2$	x_{\max}			
	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$		$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$				

4. Определить среднее арифметическое значение и среднее квадратическое отклонение результата измерений (см. п. 4.1.2).

5. Проверить наличие грубых погрешностей и исключить их с помощью критерия Граббса (см. п. 4.1.3).

6. Проверить гипотезу о нормальном распределении результатов наблюдений, используя критерий, приведенный в п. 4.1.4 при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

7. Построить гистограмму и определить вид экспериментального закона распределения результатов многократных измерений (см. п. 4.1.5).

8. Определить доверительные границы случайной погрешности по формуле (4.8), приведенной в п. 4.1.6.

9. Определить границы неисключенной систематической погрешности по формулам, приведенным в п. 4.1.7.

10. Оценить доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины Δ (без учета знака), как показано в п. 4.1.8.

11. Записать результат измерений в виде $x = \bar{x} \pm \Delta$ с указанием единиц измерения и доверительной вероятности с соблюдением правил записи и округления результатов измерений (см. прил. В).

12. Составить отчет о проделанной работе, который должен включать:

- титульный лист (образец приведен в прил. А);
- цель работы;
- используемое оборудование и материалы (привести оборудование по варианту задания);
- схему эксперимента;
- ход выполнения работы (формулы, расчеты, таблиц с результатами измерений, рисунки, выводы формул и т. д.);
- выводы (обязательно проанализировать полученные результаты).

4.1. Оценивание погрешности измерения при многократных измерениях

Необходимость выполнения прямых многократных измерений устанавливаются в конкретных методиках измерений.

В соответствии с ГОСТ Р 8.736 [6] при статистической обработке прямых измерений с многократными наблюдениями следует выполнить следующие операции:

- исключить известные систематические погрешности из результатов измерений;
- вычислить оценку измеряемой величины;
- вычислить среднее квадратическое отклонение результатов измерений;
- проверить наличие грубых погрешностей и при необходимости исключить их;
- проверить гипотезу о принадлежности результатов измерений нормальному распределению;
- вычислить доверительные границы случайной погрешности (доверительную случайную погрешность) оценки измеряемой величины;
- вычислить доверительные границы (границы) неисключенной систематической погрешности оценки измеряемой величины;
- вычислить доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины.

Проверку гипотезы о том, что результаты измерений принадлежат нормальному распределению, проводят с уровнем значимости q от 10 до 2 %. Конкретные значения уровней значимости должны быть указаны в конкретной методике измерений.

Для определения доверительных границ погрешности оценки измеряемой величины доверительную вероятность P принимают равной 0,95.

Рассмотрим более подробно каждый из этапов при обработке прямых многократных измерений.

4.1.1. Способы исключения известных систематических погрешностей из результатов измерений

Для исключения возможных систематических погрешностей из результатов наблюдений необходимо проанализировать эксперимент и используемые средства измерений. Основными способами устранения источников погрешностей до начала измерений могут быть настройка и проверка работоспособности средств измерений (например, проверка смещения нуля), поверка и градуировка средства измерений, использование аттестованных методик измерений и т. д.

Распространенными методами по исключению и учету известных систематических погрешностей результата измерений являются введение поправок, сравнение с образцом, компенсация погрешности по знаку.

4.1.2. Оценка измеряемой величины и среднего квадратического отклонения

При многократных измерениях [6] за результат измерения принимают среднее арифметическое значение исправленных результатов измерений, которое вычисляют по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (4.1)$$

где x_i – i -й результат измерений; n – число исправленных результатов измерений.

Средняя квадратическая погрешность результатов единичных измерений в ряду измерений (среднее квадратическое отклонение результата измерений) – оценка S рассеяния единичных результатов измерений в ряду равноточных измерений одной и той же величины около среднего их значения, вычисляемая по формуле

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (4.2)$$

где x_i – результат i -го единичного измерения; \bar{x} – среднее арифметическое значение измеряемой величины из n единичных результатов.

Среднее квадратическое отклонение среднего арифметического (оценки измеряемой величины) – оценка $S(\bar{x})$ случайной погрешности среднего арифметического значения результата измерений одной и той же величины в данном ряду измерений, оцениваемое по формуле

$$S(\bar{x}) = S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (4.3)$$

4.1.3. Исключение грубых погрешностей

Грубая погрешность (или промах) – погрешность измерения, существенно превышающая зависящие от объективных условий измерений значения систематической и случайной погрешностей [6].

Источником грубых погрешностей нередко бывают резкие изменения условий измерения и ошибки, допущенные оператором. К ним можно отнести:

- неправильный отсчет по шкале измерительного прибора, происходящий из-за неверного учета цены малых делений шкалы;
- неправильная запись результата наблюдений, значений отдельных мер использованного набора, например гирь;
- хаотические изменения параметров питающего СИ напряжения, например его амплитуды или частоты.

Грубые погрешности, как правило, возникают при однократных измерениях и обычно устраняются путем повторных измерений. Их причинами могут быть внезапные и кратковременные изменения условий измерения или оставшиеся незамеченными неисправности в аппаратуре. При многократных измерениях для обнаружения промахов используют статистические критерии.

Для выявления грубых погрешностей применяются, например, критерий «трех сигм», критерий Романовского, критерий Шарлея, вариационный критерий Диксона и пр.

В ГОСТ Р 8.736 [6] для нахождения грубой погрешности предложено использовать критерий Граббса.

Критерий Граббса применяется для результатов измерений, принадлежащих нормальному закону распределения. Выдвигается два предложения G_1 и G_2 о том, что наибольшее x_{\max} или наименьшее x_{\min} измеренные значения являются промахами, которые определяются по формулам:

$$G_1 = \frac{|x_{\max} - \bar{x}|}{S}; \quad G_2 = \frac{|x_{\min} - \bar{x}|}{S}. \quad (4.4)$$

Для исключения грубой погрешности, полученные значения сравнивают с теоретическим значением критерия Граббса при выбранном уровне значимости. Критические значения G_T критерия Граббса приведены в табл. 4.3. Полная таблица критических значений G_T для критерия Граббса представлена в прил. Г.

Если $G_1 > G_T$, исключают x_{\max} как промах, если $G_2 > G_T$ – исключают x_{\min} как промах. Затем заново вычисляют среднее арифметическое и среднее квадратическое отклонения ряда результатов измерений и процедуру проверки наличия грубых погрешностей повторяют.

Таблица 4.3

Критические значения G_T для критерия Граббса

n	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$P = 0,99$	3,001	3,031	3,060	3,087	3,112	3,135	3,157	3,178	3,199	3,218	3,236
$P = 0,95$	2,709	2,733	2,758	2,781	2,802	2,822	2,841	2,859	2,876	2,893	2,908

Если $G_1 \leq G_T$, то x_{\max} не считают промахом и сохраняют его в ряду измеренных значений, если $G_2 \leq G_T$, то x_{\min} не считают промахом и сохраняют его в ряду измеренных значений.

4.1.4. Проверка гипотезы

о нормальности распределения результатов измерений

Оценка закона распределения – оценка соответствия экспериментального закона распределения теоретическому распределению. Проводится с помощью специальных статистических критериев. При $n < 15$ не проводится. Применение того или иного критерия для проверки закона распределения результатов измерений зависит от количества n измерений.

При числе результатов измерений $n \leq 50$ для проверки принадлежности их к нормальному распределению предпочтителен составной критерий, который будет приведен ниже. Первым шагом составного критерия является вычисление отношения \hat{h} по формуле

$$\hat{h} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n \cdot S^*}, \quad (4.5)$$

где S^* – смещенное среднее квадратическое отклонение

$$S^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}. \quad (4.6)$$

Результаты измерений считаются распределенными по нормальному закону, если соблюдается условие:

$$d_{1-q/2} < \hat{h} \leq d_{q/2}, \quad (4.7)$$

где $d_{1-q/2}$ и $d_{q/2}$ – квантили распределения, взятые из табл. 4.4.

При числе результатов измерений $n > 50$ для проверки принадлежности их к нормальному распределению предпочтительны критерии **К. Пирсона** или критерий **Мизеса–Смирнова** [6].

Таблица 4.4

Квантили $d_{1-q/2}$ - и $d_{q/2}$ -распределения

n	$(q_{1/2}) \cdot 100 \%$		$(1 - q_{1/2}) \cdot 100 \%$	
	1 %	5 %	99 %	95 %
16	0,9137	0,8884	0,6829	0,7236
21	0,9001	0,8768	0,6950	0,7304
26	0,8901	0,8686	0,7040	0,7360
31	0,8826	0,8625	0,7110	0,7404
36	0,8722	0,8578	0,7167	0,7440
41	0,8722	0,8540	0,7216	0,7470
46	0,8682	0,8508	0,7256	0,7496
51	0,8648	0,8481	0,7291	0,7518

4.1.5. Построение гистограммы и определение вида экспериментального закона распределения результатов многократных наблюдений

Для построения экспериментального закона распределения результатов измерений необходимо произвести следующую последовательность операций:

1. Измеренные значения записать в вариационный ряд результатов многократных наблюдений x_i , то есть необходимо расположить полученные значения от минимального до максимального значения (табл. 4.1). **Вариационный ряд** – выборка, упорядоченная по возрастанию. **Выборка** – ряд значений из x результатов измерений $\{x_i\}$, $i = 1, \dots, n$ ($n > 20$), из которых исключены известные систематические погрешности. Объем выборки определяется требованиями точности измерений и возможностью производить повторные измерения.

2. Определить число интервалов группирования по формуле

$$m \approx 3,3 \lg(n) + 1 \text{ (для } n = 20 \text{ } m \approx (5 - 6)).$$

3. Вычислить интервал группирования $h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{m}$.

4. Разбить вариационный ряд на m интервалов:

- границы первого интервала m_1 : $[x_{\min}; x_{\min} + h]$;
- граница второго интервала m_2 : $(x_{\min} + h; x_{\min} + h + h]$ и т. д.

5. Вычислить относительные частоты по формуле

$$\bar{n}_j = \frac{n_j}{n},$$

где $j=1, \dots, m$; n_j – число значений x из вариационного ряда, попавших в j -й интервал группирования.

6. Построить гистограмму (пример представлен на рис. 4.1).

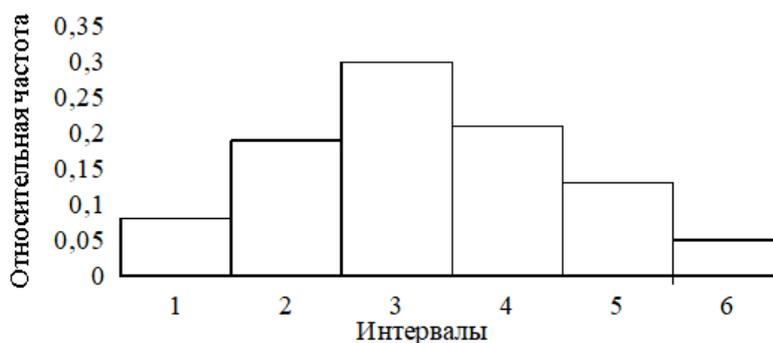


Рис. 4.1. Пример гистограммы

При $n < 15$ гистограмма позволяет определить тип экспериментального распределения только качественно и оценка соответствия выборочного распределения теоретическому распределению не производится [5]. Данная в примере гистограмма позволяет предположить нормальный характер распределения результатов многократных наблюдений.

4.1.6. Доверительные границы случайной погрешности оценки измеряемой величины

Случайная погрешность измерения (ε) – составляющая погрешности результата измерений, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же физической величины. Для уменьшения случайной составляющей погрешности проводят многократные измерения.

Для оценивания доверительных границ случайной погрешности необходимо задать доверительную вероятность из ряда $P=0,9; 0,95; 0,99$. Чаще на практике $P=0,95$.

Доверительные границы случайной погрешности определяются по формуле

$$\varepsilon = \pm t \cdot S_{\bar{x}}, \quad (4.8)$$

где t – коэффициент Стьюдента.

Коэффициент Стьюдента, исходя из доверительной вероятности P и числа степеней свободы, равного $(n - 1)$, выбирается из таблицы (прил. В).

4.1.7. Доверительные границы неисключенной систематической погрешности

Под **неисключенной систематической погрешностью** измерения понимают составляющую погрешности результата измерений, обусловленную погрешностями вычисления и введения поправок на влияние систематических погрешностей или систематической погрешностью, на которую поправка не введена.

Неисключенная систематическая погрешность (НСП) определяется погрешностью метода, субъективной погрешностью, основными погрешностями СИ, дополнительными погрешностями. В качестве границ составляющих неисключенной систематической погрешности принимают, например, пределы допускаемых основных и дополнительных погрешностей средств измерений, если случайные составляющие погрешности пренебрежимо малы.

При наличии менее трех ($m < 3$) НСП доверительные границы такой погрешности оцениваются по формуле

$$\Theta_{\Sigma} = \pm \sum_{i=1}^m |\Theta_i|, \quad (4.9)$$

где Θ_i – граница i -й составляющей неисключенной систематической погрешности.

При числе составляющих НСП $m \geq 3$ доверительные границы НСП $\Theta_{\Sigma}(P)$ оценки измеряемой величины вычисляют путем построения композиции НСП. При равномерном распределении НСП доверительные границы $\Theta_{\Sigma}(P)$ допускается вычислять по формуле

$$\Theta_{\Sigma}(P) = \pm k \sqrt{\sum_{i=1}^m \Theta_i^2}, \quad (4.10)$$

где Θ_i – границы каждой из m составляющих; m – количество составляющих неисключенной систематической погрешности; k – коэффициент, зависящий от доверительной вероятности и m .

Рекомендованные значения k (независимо от m):

- $k = 0,95$ при доверительной вероятности $P = 0,9$;
- $k = 1,1$ при $P = 0,95$;
- $k = 1,4$ при $P = 0,99$.

В ГОСТ Р 8.736–2011 ГСИ [6] рассмотрены разные случаи нахождения доверительных границ неисключенной систематической погрешности в зависимости от количества НСП.

4.1.8. Доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины

На этом этапе комбинируются систематическая и случайная составляющие погрешности. Таким образом, доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины Δ (без учета знака) вычисляют по формуле

$$\Delta = K \cdot S_{\Sigma}, \quad (4.11)$$

где K – коэффициент, зависящий от соотношения случайной составляющей погрешности и НСП.

Суммарное среднее квадратическое отклонение S_{Σ} оценки измеряемой величины вычисляют по формуле

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\Theta}^2 + S_{\bar{x}}^2}, \quad (4.12)$$

где S_{Θ} – среднее квадратическое отклонение НСП, которое оценивают в зависимости от способа вычисления НСП.

Если НСП Θ_{Σ} оценивалась по формуле (4.9), тогда S_{Θ} находится следующим образом:

$$S_{\Theta} = \frac{\Theta_{\Sigma}}{\sqrt{3}}. \quad (4.13)$$

Если НСП $\Theta_{\Sigma}(P)$ оценивалась по формуле (4.10), тогда

$$S_{\Theta} = \frac{\Theta_{\Sigma}(P)}{k\sqrt{3}}, \quad (4.14)$$

где k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью P , числом составляющих НСП и их соотношением между собой.

Коэффициент K для подстановки в (4.11) в зависимости от числа НСП определяют по эмпирическим формулам:

$$K = \frac{\varepsilon + \Theta_{\Sigma}}{S_{\bar{x}} + S_{\Theta}}; \quad K = \frac{\varepsilon + \Theta_{\Sigma}(P)}{S_{\bar{x}} + S_{\Theta}}. \quad (4.15)$$

Контрольные вопросы и задания

1. В чем смысл многократных измерений?
2. Назовите цель построения гистограммы.
3. Какими погрешностями определяется систематическая составляющая погрешности измерений и какими – случайная составляющая?
4. Что такое неисключенная систематическая погрешность? Как её определить?
5. Определите коэффициент Стьюдента для 26 измерений при доверительной вероятности $P = 0,95$.
6. Как определяются доверительные границы суммарной погрешности результата измерений?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

Оценивание неопределенности результатов прямых многократных измерений

Цель:

- приобретение практических навыков оценивания неопределенности прямых многократных измерений;
- приобретение навыка выявления возможных источников неопределенности;
- закрепление теоретического материала модуля «Метрология» изучаемой дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация».

Используемое оборудование и материалы (может быть использовано другое оборудование и исследуемые объекты): генератор ГЗ-109; милливольтметр ВЗ-38.

Программа работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом, приведенным в п. 5.1.
2. Заполнить для применяемых средств измерений табл. 5.1, воспользовавшись технической документацией на СИ и вспомнив теоретический материал из п. 1.1.

Таблица 5.1

Классификационные признаки средств измерений

Классификационные признаки	Указать наименование и тип средства измерений	Указать наименование и тип средства измерений
По видам (по техническому назначению)		
По виду выходной величины		
По форме представления информации (только для измерительных приборов)		
По назначению		
По метрологическому назначению		
Нормированные метрологические характеристики		

3. Собрать схему для прямого измерения напряжения переменного электрического сигнала произвольной частоты. Напряжение, задаваемое с генератора, установить в одном из пределов – от 1 до 100 мВ; от 1 до 10 В.

4. Произвести ряд независимых многократных наблюдений величины – x . Результаты записать в табл. 5.2 (графы 1, 2), указав наименования величины и единицы измерения.

Таблица 5.2

Результаты измерения переменного напряжения

n_i	x_i	$\Delta x = x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	x_1	$x_1 - \bar{x}$	$(x_1 - \bar{x})^2$
2	x_2	$x_2 - \bar{x}$	$(x_2 - \bar{x})^2$
...
19	x_{19}	$x_{19} - \bar{x}$	$(x_{19} - \bar{x})^2$
20	x_{20}	$x_{20} - \bar{x}$	$(x_{20} - \bar{x})^2$
	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$		$\sum_{i=1}^{n=20} (x_i - \bar{x})^2$

5. Определить среднее арифметическое значение и среднее квадратическое отклонение результата измерений (см. п. 4.1.2).

6. Проверить наличие грубых погрешностей и исключить их с помощью критерия Граббса (см. п. 4.1.3).

7. Проверить гипотезу о нормальном распределении результатов наблюдений, используя критерий, приведенный в п. 4.1.4, при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

8. Выявить возможные источники неопределенности (указать причины их возникновения при измерениях) и рассчитать систематические погрешности, вносимые в результат каждым источником.

9. Рассчитать стандартную неопределенность по типу А, используя формулы (5.2), (5.3) и стандартные неопределенности по типу В для каждого источника систематической погрешности проведенных измерений, используя формулы (5.4), (5.5).

10. Рассчитать суммарную стандартную неопределенность (см. п. 5.2.3).

11. Определить коэффициент охвата по п. 5.2.4. Обосновать его выбор.

12. Составить бюджет неопределенности проведенных измерений (см. п. 5.2.5).

13. Оценить расширенную неопределенность измерений по п. 5.2.6.

14. Записать результат измерения с указанием единиц измерения и доверительной вероятности с соблюдением правил записи и округления результатов измерений (см. п. 2.1.5).

15. Составить отчет о проделанной работе, который должен включать:

- титульный лист (образец приведен в прил. А);
- цель работы;
- используемое оборудование и материалы (привести оборудование по варианту задания);
- схему эксперимента;
- ход выполнения работы (формулы, расчеты, таблиц с результатами измерений, рисунки, выводы формул и т. д.);
- выводы (обязательно проанализировать полученные результаты).

5.1. Оценивание неопределенности результатов измерений

5.1.1. Составление уравнения измерения

В концепции неопределенности под уравнением измерения понимается математическая зависимость между измеряемыми величинами x_1, x_2, \dots, x_k (входными величинами), а также другими величинами, влияющими на результат измерения $x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_m$, и результатом измерения Y (выходная величина):

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k, x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_m). \quad (5.1)$$

В качестве основы для составления уравнения измерения используется уравнение связи (в классическом понимании), то есть зависимость $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$. Далее в результате анализа условий измерений и применяемых средств измерений устанавливаются другие факторы, влияющие на результат измерений. При этом величины $x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_m$, описывающие эти факторы, включают в уравнение (5.1), даже если они незначительно могут повлиять на результат Y . Задача оператора – по возможности наиболее полно учесть все факторы, влияющие на результат измерения.

5.1.2. Оценка входных величин и их стандартных неопределенностей

Неопределенность (измерений) – неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании измерительной информации [9].

Стандартная неопределенность (u) – неопределенность результата измерений, выраженная в виде среднего квадратического отклонения (СКО).

Различают два метода оценивания стандартной неопределенности:

- вычисление по типу А (u_A) – путем статистического анализа результатов многократных измерений (опираясь, в основном, на нормальный закон распределения полученных величин);
- вычисление по типу В (u_B) – с использованием других источников информации об измеряемом значении (опираясь, в основном, на равномерный закон распределения возможных значений величин в определенных границах).

Таким образом, подчеркнем еще раз: деление на систематические и случайные погрешности обусловлено природой их возникновения и проявления в ходе выполнения измерений, а деление на неопределенности, вычисляемые по типу А и по типу В – методами их получения и использования при расчете общей неопределенности.

Исходными данными для вычисления стандартной неопределенности по типу А (u_A) являются результаты многократных измерений: x_{i1}, \dots, x_{in} , где $i = 1, \dots, m$; n_i – число измерений i -й входной величины.

Стандартную неопределенность единичного измерения i -й входной величины u_A вычисляют по формуле

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (5.2)$$

где $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ – среднее арифметическое результатов измерений i -й входной величины.

Стандартную неопределенность $u_A(\bar{x})$ измерений i -й входной величины, при которых результат определяют как среднее арифметическое, вычисляют по формуле

$$u_A(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (5.3)$$

В качестве исходных данных для вычисления стандартной неопределенности по типу В (u_B) используют:

- сведения, имеющиеся в метрологических документах по поверке, калибровке, и сведения изготовителя о приборе;
- данные, основанные на опыте исследователя или общих знаниях о поведении и свойствах соответствующих (подобных) средств измерений и материалов;
- сведения об используемых константах и справочных данных;

- нормы точностных характеристик методик измерений;
- другие сведения об источниках неопределенностей, влияющих на результат измерения.

Неопределенности этих данных обычно представляют в виде границ отклонения значения величины от ее оценки. Наиболее распространенный способ формализации неполного знания о значении величины заключается в постулировании равномерного закона распределения возможных значений этой величины в указанных (нижней и верхней) границах $[(\Theta_{i-}; \Theta_{i+})$ для i -й входной величины]. При этом стандартную неопределенность, вычисляемую по типу В – $u_B(x_i)$, – определяют по формуле

$$u_B(x_i) = \frac{\Theta_{i+} - \Theta_{i-}}{2\sqrt{3}}. \quad (5.4)$$

Для симметричных границ $(\pm\Theta_\Sigma)$ –

$$u_B(x_i) = \frac{\Theta_i}{\sqrt{3}}. \quad (5.5)$$

В случае других законов распределения формулы для вычисления неопределенности по типу В будут иными [10].

5.1.3. Оценивание суммарной стандартной неопределенности

Суммарная стандартная неопределенность (u_C) – стандартная неопределенность измерений, которую получают суммированием отдельных стандартных неопределенностей измерений, связанных с входными величинами в модели измерений [9].

Чаще всего измерения являются косвенными, то есть измеряемая величина Y связана с измеряемыми величинами x_i посредством функциональной зависимости (5.1). Поэтому суммарную стандартную неопределенность $u_C(y)$ оценивают следующим образом.

В случае некоррелированных оценок входных величин, суммарную стандартную неопределенность $u_C(y)$ вычисляют по формуле

$$u_C(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i) \right]}. \quad (5.6)$$

В случае коррелированных оценок –

$$u_C(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial f}{\partial x_j} \cdot r(x_i, x_j) u(x_i) u(x_j)}, \quad (5.7)$$

где $\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)$ – коэффициенты чувствительности выходной величины по отношению к входной величине x_i ; $r(x_i, x_j)$ – коэффициент корреляции; $u(x_i)$ – стандартные неопределенности i -й входной величины, вычисленные по типу А или В.

5.1.4. Выбор коэффициента охвата при вычислении расширенной неопределенности

Коэффициент охвата – коэффициент, зависящий от вида распределения неопределенности результата измерений и вероятности охвата и численно равный отношению расширенной неопределенности, соответствующей заданной вероятности охвата, к стандартной неопределенности.

Вероятность охвата – вероятность, которой, по мнению оператора, соответствует расширенная неопределенность результата измерений. Вероятность охвата определяется с учетом вероятностного закона распределения неопределенности и аналогом ее в классической теории является доверительная вероятность.

Число степеней свободы – параметр статистического распределения, равный числу независимых связей оцениваемой статистической выборки [9].

В общем случае коэффициент охвата k выбирают в соответствии с формулой

$$k = t_p(v_{eff}), \quad (5.8)$$

где $t_p(v_{eff})$ – коэффициент распределения Стьюдента с эффективным числом степеней свободы v_{eff} и доверительной вероятностью (уровнем доверия) p . Значения коэффициента $t_p(v_{eff})$ приведены в прил. Б.

Эффективное число степеней свободы определяют по формуле

$$v_{eff} = \frac{u_C^4}{\sum_{i=1}^m \left[\frac{u^4(x_i)}{v_i} \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^4 \right]}, \quad (5.9)$$

где v_i – число степеней свободы при определении оценки i -й входной величины, при этом:

- $v_i = n_i - 1$ – для вычисления неопределенностей по типу А;
- $v_i = \infty$ – для вычисления неопределенностей по типу В.

Во многих практических случаях при вычислении неопределенностей результатов измерений выбирают:

- $k = 2$ при $p = 0,95$ и $k = 3$ при $p = 0,99$ – при нормальном законе распределения возможных значений измеряемой величины;
- $k = 1,65$ при $p = 0,95$ и $k = 1,71$ при $p = 0,99$ – при равномерном законе распределения.

При представлении результатов измерений рекомендуется приводить достаточное количество информации для возможности проанализировать или повторить весь процесс получения результата измерений и вычисления неопределенностей измерений, а именно:

- алгоритм получения результата измерений;
- алгоритм расчета всех поправок и их неопределенностей;
- неопределенности всех используемых данных и способы их получения;
- алгоритмы вычисления суммарной и расширенной неопределенностей (включая значение коэффициента k) [10, 11].

5.1.5. Составление бюджета неопределенности

Под бюджетом неопределенности понимается формализованное представление полного перечня источников неопределенности измерений по каждой входной величине с указанием их стандартной неопределенности, их вклада в суммарную стандартную неопределенность результата измерений. В табл. 5.3 приведена рекомендуемая форма представления бюджета неопределенности.

5.1.6. Определение расширенной неопределенности измерений

Расширенная неопределенность (U) – величина, определяющая интервал вокруг результата измерений, в пределах которого, как можно ожидать, находится большая часть распределения значений, которые с достаточным основанием могли бы быть приписаны измеряемой величине.

Расширенная неопределенность рассчитывается по формуле

$$U = k \cdot u_c. \quad (5.10)$$

Руководство по неопределенности [10] рекомендует рассматривать все результаты измерений при доверительной вероятности (вероятности охвата) $p = 0,95$ [10, 11].

Таблица 5.3

Пример составления бюджета неопределенности

Входная величина	Оценка входной величины	Стандартная неопределенность	Тип оценивания, закон распределения	Коэффициент чувствительности	Вклад в суммарную стандартную неопределенность
X_1	x_1	$u(x_1)$	А или В	$\partial f / \partial x_1$	$u_1(y) = \partial f / \partial x_1 \cdot u(x_1)$
X_2	x_1	$u(x_2)$	А или В	$\partial f / \partial x_2$	$u_2(y) = \partial f / \partial x_2 \cdot u(x_2)$
...
X_m	x_1	$u(x_m)$	А или В	$\partial f / \partial x_m$	$u_m(y) = \partial f / \partial x_m \cdot u(x_m)$
Y	$y = f(x_i)$	$u(y)$			$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2(y)}$

Контрольные вопросы и задания

1. В чем отличие понятий «погрешность результата измерения» и «неопределенности измерения»?
2. Почему важно овладеть методиками оценивания как погрешности, так и неопределенности результата измерения?
3. Насколько совпадает отечественная нормативная база с Руководством и в чем заключается несовпадение?
4. Напишите формулу для расчета суммарной стандартной неопределенности.
5. Напишите формулу для расчета расширенной неопределенности.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

Оценивание неопределенности результатов косвенных измерений

Цель:

- приобретение практических навыков оценивания неопределенности косвенных измерений;
- освоение навыков выявления возможных источников неопределенности;
- закрепление теоретического материала модуля «Метрология» изучаемой дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация».

Используемое оборудование и материалы (может быть использовано другое оборудование и исследуемые объекты): штангенциркуль; микрометр; линейка; объекты измерений; источник питания АТН-1232; мультиметр АМ-1097; универсальный вольтметр В7-22А; резистор; лабораторный макет; цилиндры.

Программа работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом, приведенным в п. 6.1.
2. Провести косвенное измерение величины в соответствии с выданным вариантом задания (см. табл. 6.1). Измерение одной из величин, определяемых посредством прямых измерений, провести не менее трех раз (по выбору преподавателя).

Таблица 6.1

Варианты заданий

Номер варианта	Измеряемая величина и формула	Используемые средства измерений
1	Объем цилиндра $V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{4}$	линейка, штангенциркуль, микрометр
2	Объем шара $V = \frac{\pi \cdot d^3}{4},$ где d – диаметр	линейка, штангенциркуль, микрометр
3	Объем шара $V = \frac{L^3}{6 \cdot \pi^3},$ где L – длина окружности	линейка, штангенциркуль, микрометр
4	Объем параллелепипеда $V = a \cdot b \cdot c,$ где a, b, c – высота, ширина, длина	линейка, штангенциркуль, микрометр

Номер варианта	Измеряемая величина и формула	Используемые средства измерений	
5	Объем усеченного конуса $V = \frac{\pi \cdot h \cdot (D^2 + d^2 + D \cdot d)}{12},$ где D, d – большой и малый диаметры соответственно	линейка, штангенциркуль, микрометр	
6	Объем полого цилиндра $V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot h}{4} - \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{4},$ где D, d – внешний и внутренний диаметры соответственно	линейка, штангенциркуль, цифровой штангенциркуль	
7	Объем полого цилиндра $V = \pi \cdot D \cdot h \cdot a - \pi \cdot a^2 \cdot h,$ где D – внешний; a – толщина стенки цилиндра	линейка, штангенциркуль, микрометр	
8	Сопротивление проводника $R = \rho \cdot \frac{l}{S},$ где ρ – удельное сопротивление провода; l – длина провода; $S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ – площадь поперечного сечения провода	линейка, штангенциркуль, микрометр	
9	$S = \rho \cdot \frac{l}{R},$ где ρ – удельное сопротивление провода; l – длина провода; R – сопротивление проводника	микрометр, вольтметр	штангенциркуль, мультиметр
10	$\rho = \frac{R \cdot S}{l},$ где ρ – удельное сопротивление провода; l – длина провода; R – сопротивление проводника	линейка, штангенциркуль, микрометр, мультиметр	
11	$I = \frac{U}{R},$ где U – напряжение на резисторе R ; R – сопротивление резистора	источник питания, мультиметр, вольтметр	

3. Выявить возможные источники неопределенности (указать причины их возникновения при измерениях) и рассчитать погрешности, вносимые в результат каждым источником.

4. Рассчитать стандартную неопределенность по типу А, используя формулы (6.2), (6.3) и стандартные неопределенности по типу В для каждого источника систематической погрешности проведенных измерений, используя формулы (6.4), (6.5).

5. Рассчитать суммарную стандартную неопределенность по п. 6.2.3.

6. Определить коэффициент охвата по (см. п. 6.2.4). Обосновать его выбор.

7. Составить бюджет неопределенности проведенных измерений (см. п. 6.2.5).

8. Оценить расширенную неопределенность измерений по п. 6.2.6.

9. Записать результат измерения с указанием единиц измерения и доверительной вероятности с соблюдением правил записи и округления результатов измерений (см. прил. В).

10. Составить отчет о проделанной работе, который должен включать:

- титульный лист (образец приведен в прил. А);
- цель работы;
- используемое оборудование и материалы (привести оборудование по варианту задания);
- ход выполнения работы (формулы, расчеты, таблиц с результатами измерений, рисунки, выводы формул и т. д.);
- выводы (обязательно проанализировать полученные результаты).

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое неопределенность измерения?
2. Каков порядок расчета неопределенности измерений?
3. Дайте определение понятию «бюджет неопределенности». Для чего он составляется?
4. Напишите формулы для расчета стандартных неопределенностей.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7

Методы измерений: непосредственной оценки, нулевой метод, дифференциальный метод, метод дополнения

Цель:

- приобретение навыков определения значений величины различными методами измерений и расчета погрешности при таких измерениях;
- закрепление теоретических знаний по разделу «Методы измерений» изучаемой дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация».

Используемое оборудование и материалы (в лабораторной работе может быть использовано другое оборудование): источник питания АТН-1232; мультиметр АМ-1097; цифровой мультиметр М-832; лабораторный макет.

Программа работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом, приведенным в п. 7.1.
2. Вспомнить принцип действия, технические и метрологические характеристики используемых средств измерений.
3. Перед выполнением лабораторной работы необходимо зафиксировать температуру воздуха в аудитории, атмосферное давление и влажность. Полученные данные занести в отчет.
4. Выполнить измерение постоянного напряжения 10 батареек типа АА номиналом 1,5 В и 3 батареек типа «Крона» номиналом 9 В различными методами. Итоговые данные занести в табл. 7.1. Произвести сравнение полученных результатов измерений.

Таблица 7.1

Результаты измерений, полученные разными методами

№	Метод непосредственной оценки	Нулевой метод	Дифференциальный метод	Метод дополнения
1				
2				
3				

Измерение постоянного напряжения методом непосредственной оценки. С помощью мультиметров М-832 и АМ-1097 измерить постоянное напряжение батареек в соответствии с руководством эксплуатации на средства измерений и схемой, приведенной на рис. 7.1.

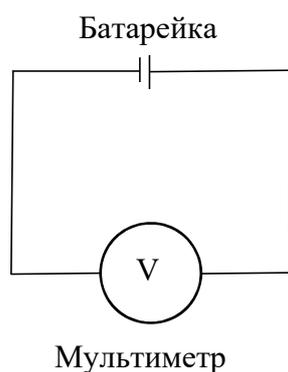


Рис. 7.1. Схема для измерений напряжения постоянного тока

Рассчитать погрешность однократных измерений, данные результаты измерений занести в табл. 7.1 в соответствии с правилами округления МИ 1317.

Измерение постоянного напряжения нулевым методом. Собрать схему, приведенную на рис. 7.2. Здесь разность напряжений $U_{\text{ср}}$ показывает мультиметр АМ-1097 (средство сравнения), а напряжение меры U_m – мультиметр М-832. Можно заменить или поменять местами мультиметры.

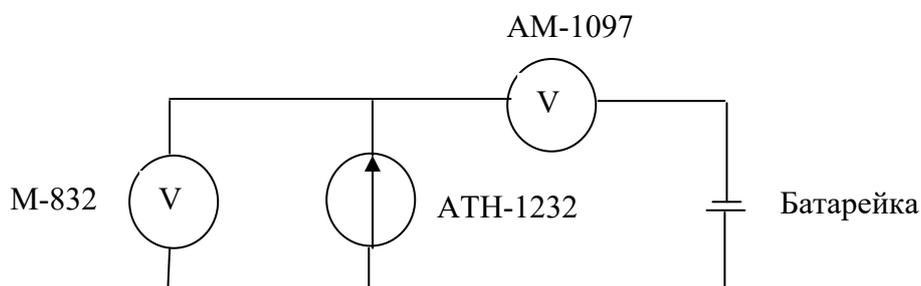


Рис. 7.2. Схема для измерений напряжения постоянного тока нулевым/дифференциальным методом измерений

На мультиметрах установить режим измерения напряжения постоянного тока и выбрать необходимый предел измерений.

С помощью регулирующих ручек на лицевой панели источника питания АТН-1232, изменяя значение напряжения, добиться на мультиметре АМ-1097 нулевого значения.

Полученные результаты занести в табл. 7.2. В табл. 7.2 U_m соответствует значению напряжения постоянного тока, полученного с меры, $U_{\text{ср}}$ – напряжение постоянного тока на средстве сравнения, U_x – искомое значение напряжения.

Таблица 7.2

Измеренные значения нулевым методом

Номер батарейки	U_m , В	U_{cp} , В	U_x , В	ΔU_x , В	$(U_x \pm \Delta U_x)$, В

Искомое значение напряжения постоянного тока находится по формуле

$$U_x = U_m, \quad (7.1)$$

где U_m – значение напряжения постоянного тока, полученного с меры; U_x – искомое значение напряжения.

При нулевом методе измерений погрешность определяется по формуле

$$\Delta U_x = \Delta U_m. \quad (7.2)$$

Окончательные результаты измерений занести в табл. 7.1.

Измерение постоянного напряжения дифференциальным методом. Собрать схему, приведенную на рис. 7.2. Здесь разность напряжений U_{cp} показывает мультиметр АМ-1097 (средство сравнения), а напряжение меры U_m – мультиметр М-832.

На мультиметре установить режим измерения напряжения постоянного тока и выбрать необходимый предел измерений. Установить на источнике питания напряжение от 2 до 10 В. Не проводить никакие манипуляции по достижению нулевого значения на устройстве сравнения.

Полученные результаты занести в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Измеренные значения дифференциальным методом

Номер батарейки	U_m , В	U_{cp} , В	U_x , В	ΔU_x , В	$(U_x \pm \Delta U_x)$, В

Искомое значение напряжения постоянного тока находится по формуле

$$U_x = U_m - U_{cp}, \quad (7.3)$$

где U_m – значение напряжения постоянного тока полученного с меры; U_{cp} – напряжение постоянного тока на средстве сравнения; U_x – искомое значение напряжения.

Погрешность при дифференциальном методе измерений рассчитывается следующим образом:

$$\Delta U_x = k \cdot \sqrt{\Delta U_{cp}^2 + \Delta U_m^2}, \quad (7.4)$$

где $k = 1,1$ – коэффициент, соответствующий выбранной доверительной вероятности $\alpha = 0,95$; ΔU_m – абсолютная погрешность при измерении значения напряжения постоянного тока полученного с меры; ΔU_{cp} – абсолютная погрешность при измерении значения напряжения постоянного тока на средстве сравнения.

Погрешности средств измерений можно найти в описании типа средств измерений или руководстве по эксплуатации.

Измерение постоянного напряжения методом дополнения. Собрать схему, приведенную на рис. 7.3. В соответствии с собранной схемой мультиметр АМ-1097 показывает суммирующее значение напряжения постоянного тока $U_{сумм}$, которое он снимает с источника питания и исследуемой батарейки. Мультиметр М-832 фиксирует напряжение постоянного тока U_m только с источника питания АТН-1232.

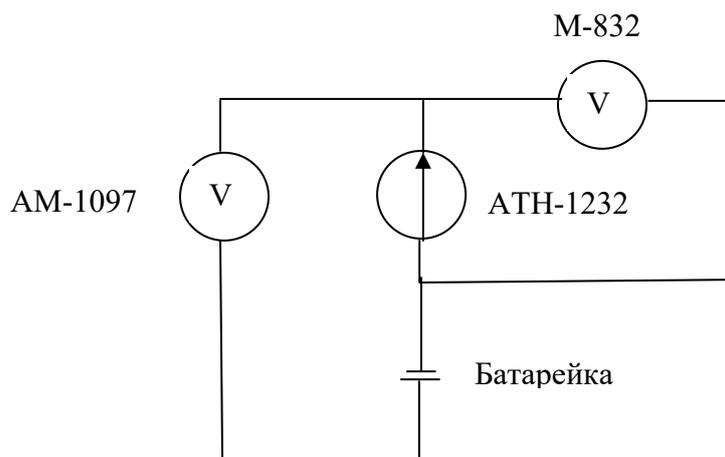


Рис. 7.3. Схема для измерений напряжения постоянного тока методом дополнения

Полученные результаты занести в табл. 7.4.

Таблица 7.4

Измеренные методом дополнения значения

Номер батарейки	U_m , В	$U_{сумм}$, В	U_x , В	ΔU_x , В	$(U_x \pm \Delta U_x)$, В

Искомое значение напряжения постоянного тока находится по формуле

$$U_x = U_{\text{сумм}} - U_m, \quad (7.5)$$

где U_m – значение напряжения постоянного тока полученного с меры; $U_{\text{сумм}}$ – суммарное значение напряжения постоянного тока на средстве сравнения; U_x – искомое значение напряжения.

Погрешность при дифференциальном методе измерений рассчитывается по формуле

$$\Delta U_x = k \cdot \sqrt{\Delta U_{\text{сумм}}^2 + \Delta U_m^2}, \quad (7.6)$$

где $k = 1,1$ – коэффициент, соответствующий выбранной доверительной вероятности $\alpha = 0,95$; ΔU_m – абсолютная погрешность при измерении значения напряжения постоянного тока полученного с меры; $\Delta U_{\text{сумм}}$ – абсолютная погрешность при измерении значения напряжение постоянного тока на средстве сравнения.

Погрешности средств измерений можно найти в описании типа средств измерений или руководстве по эксплуатации.

5. Сделать обобщающие выводы по результатам измерений, сравнить полученные результаты.

6. Оформить отчет по лабораторной работе в соответствии с установленными в СТО ТПУ требованиями.

Методы измерений

На рис. 7.4 приведена классификация методов измерений. Под **методом измерений** в соответствии с РМГ 29 понимается прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с её единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.



Рис. 7.4. Классификация методов измерений

В каждом методе измерений заложен исходя из определения принцип измерений. **Принцип измерений** – физическое явление или эффект, положенные в основу измерений.

Метод непосредственной оценки, или прямой метод измерений, – самый часто встречающийся метод измерений.

Метод непосредственной оценки – это такой метод измерений, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия.

Примерами применения прямого метода измерений можно считать: взвешивание продуктов на электронных весах, измерение потребляемой энергии благодаря электрическим счётчикам, определение размера детали с помощью микрометра или измерение давления манометром.

Метод сравнения с мерой – это такой метод, при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Метод сравнения с мерой имеет разновидности, которые часто рассматриваются как самостоятельные методы измерений: нулевой, дифференциальный, метод замещения, метод дополнения и метод совпадений.

Нулевой метод (измерений) – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на средство сравнения доводят до нуля.

Примером применения нулевого метода служит измерение электрического сопротивления мостом с полным его уравниванием.

Преимущества нулевого метода измерений:

- метод позволяет измерять величины разных размеров с помощью образцовых мер величин большего или меньшего размера;
- метод позволяет производить измерения величины одного размера с помощью однородной величины другого размера (массы с помощью меры массы);
- повышенная точность измерений.

Недостатки нулевого метода измерений:

- требуется высокая квалификация измерителя;
- длительный процесс уравнивания;
- невозможно провести измерение некоторых величин, например температуры.

Дифференциальный метод измерений – метод измерений, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, при котором измеряется разность между этими двумя величинами.

Дифференциальный метод измерений применяется, когда измеряемое напряжение близко к напряжению меры и отсутствует возможность регулировать меру.

Преимущества дифференциального метода измерений:

- применение однозначных мер;
- высокая точность;
- невысокие требования к средству сравнения;
- использование минимального количества мер.

Недостатки дифференциального метода измерений:

- требуется высокая квалификация измерителя;
- необходимо применять средства сравнения однородных величин;
- измерение некоторых величин не возможно, например температуры.

туры.

Метод дополнения – метод сравнения с мерой, в котором значение измеряемой величины дополняется мерой этой же величины с таким расчетом, чтобы на прибор сравнения воздействовала их сумма, равная заранее заданному значению.

Преимущество метода измерений дополнением – повышенная точность измерений.

Недостатки нулевого метода измерений:

- требуется высокая квалификация измерителя;
- сложность измерений;
- необходимость применения мер для каждой измеряемой величины.

чины.

Метод замещения – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают некоторой известной величиной, воспроизводимой мерой.

Пример – взвешивание на пружинных весах. Измерение производят в 2 приема. Вначале на чашу весов помещают взвешиваемую массу и отмечают положение указателя весов; затем массу m_x замещают массой гирь m_0 , подбирая ее так, чтобы указатель весов установился точно в том же положении, что и в первом случае.

В **методе совпадений** разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов.

Пример – метод совпадений реализуется в штангенприборах. Здесь рассматривается совмещение основной и нониусной отметок шкал. Шкала нониуса штангенциркуля имеет десять делений через 0,9 мм. Когда нулевая отметка шкалы нониуса оказывается между отметками основной шкалы штангенциркуля, это означает, что к целому числу миллиметров необходимо добавить число десятых долей миллиметра, равное порядковому номеру совпадающей отметки нониуса.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите методы сравнения с мерой.
2. Что такое нулевой метод? Перечислите его достоинства и недостатки.
3. Как нулевым методом определяется искомое значение величины? Как рассчитывается погрешность измерений?
4. Что такое дифференциальный метод? Перечислите его достоинства и недостатки.
5. В чем отличие нулевого метода от дифференциального?
6. Как дифференциальным методом определяется искомое значение величины? Как рассчитывается погрешность измерений?
7. Что такое метод дополнения? Перечислите его достоинства и недостатки.
8. Как методом дополнения определяется искомое значение величины? Как рассчитывается погрешность измерений?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8

Методы измерений: метод замещения

Цель:

- изучение назначения, устройства и правила использования концевых мер длины (КМД);
- изучение устройства рычажных скоб, их технических и метрологических данных;
- проведение измерений рычажной скобой.

Используемое оборудование и материалы: набор концевых мер длины; рычажная скоба, штангенциркуль (или микрометр, или линейка).

Программа работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом, приведенным в п. 8.1. Для измерения выдается цилиндрический валик с указанием его размера с предельными отклонениями в условном обозначении и степени точности предельных отклонений геометрической формы детали.
2. Провести измерение размера объекта с помощью штангенциркуля (или микрометра, линейки) не менее двух раз (по выбору преподавателя).
3. Рассчитать средний размер объекта.
4. Собрать полученный размер объекта с помощью блока концевых мер длины. Записать размер блока и погрешности каждой использованной меры.
5. Ознакомиться с рычажной скобой, записать её характеристики и настроить ее на нуль.
6. Провести измерение объекта посредством метода сравнения с мерой в трех сечениях и записать отклонения со знаком.
7. Определить измеренный размер объекта как сумму размера блока и отклонения для трех сечений.
8. Определить действительный размер объекта как среднее значение и рассчитать погрешность проведенного измерения.
9. Записать результат измерения с указанием единиц измерения и доверительной вероятности с соблюдением правил записи и округления результатов измерений (см. прил. В).
10. Составить отчет о проделанной работе, который должен включать:
 - титульный лист (образец приведен в прил. А);
 - цель работы;
 - используемое оборудование и материалы (привести оборудование по заданию);
 - ход выполнения работы (формулы, расчеты, таблиц с результатами измерений, рисунки, выводы формул и т. д.);
 - выводы (обязательно проанализировать полученные результаты).

Плоскопараллельная концевая мера длины

Это мера, изготовленная в виде бруска прямоугольного сечения с двумя плоскими взаимно параллельными измерительными поверхностями, обладающими свойством притираться к измерительным поверхностям других концевых мер или плоских вспомогательных пластин.

Концевые меры длины, изготовленные по ГОСТ 9038-90, предназначены:

- для передачи размеров от рабочего эталона к объекту;
- хранения и воспроизведения единицы длины;
- поверки и градуировки мер и измерительных приборов;
- установки приборов на ноль при измерениях методом сравнения с мерой;
- непосредственных измерений высокоточных размеров изделий.

Концевые меры длины имеют форму прямоугольного параллелепипеда с двумя плоскими точно обработанными взаимно параллельными измерительными поверхностями.

За длину концевой меры принимают длину перпендикуляра, опущенного из данной точки измерительной поверхности на ее противоположную измерительную поверхность.

За номинальную длину концевой меры принимают ее длину в средней части концевой меры. Отклонением длины концевой меры от номинальной длины называют наибольшую по абсолютному значению разность между длиной меры в любой точке и номинальной длиной меры.

Отклонением от плоскопараллельности называют разность между наибольшей и наименьшей длинами концевой меры.

На каждой концевой мере на ее нерабочей поверхности нанесен ее номинальный размер либо на одной из измерительных поверхностей, либо на боковой рабочей поверхности.

Концевые меры комплектуют в наборы по номинальным длинам (рис. 8.1).



Рис. 8.1. Набор плоскопараллельных концевых мер

Измерительные поверхности концевых мер длины обладают способностью прочно сцепляться при надвигании одной меры на другую. Такая способность называется *притираемостью*.

При помощи плиток можно составлять наборы различных размеров. Для этого несколько плиток притираются друг к другу и собираются в блоки из 2–4 плиток. Набор притертых плиток (рис. 8.2) не рассыпается, так как силы сцепления двух плиток достигают большой величины и разъединить их можно, только сдвигая одну плитку по другой.

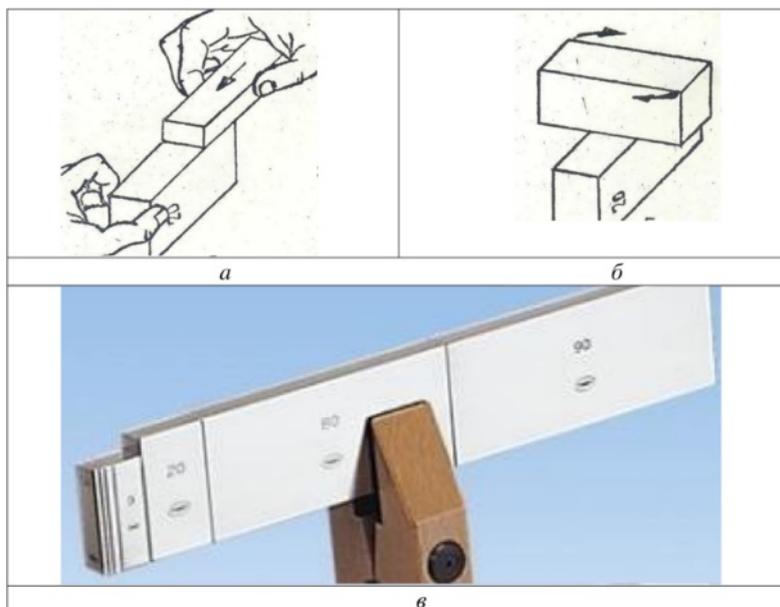


Рис. 8.2. Пример сборки плоскопараллельной концевой меры длины:
а – правильное притирание концевых мер;
б – неправильное притирание концевых мер; в – блок концевых мер длин

Правила составления блока заданного размера из концевых мер:

- блок заданного размера необходимо составлять из возможно меньшего числа мер (это уменьшает суммарную погрешность размера и повышает надежность блока от разрушения); число концевых мер в блоке не должно быть больше четырех;
- сначала необходимо выбирать концевые меры, которые позволяют получить тысячные доли миллиметра, затем сотые, десятые и, наконец, целое число миллиметров;
- концевые меры, которые предназначены для составления блока, необходимо протереть насухо льняной салфеткой. Затем одну из мер накладывают на вторую, примерно на треть длины рабочей поверхности, и, плотно прижимая пальцами, подвигают вдоль большой оси до полного контакта поверхностей. Если после этого с помощью легкого усилия не удастся разъединить собранный блок, меры считаются притертыми. Таким же образом притирают остальные концевые меры.

Рычажная скоба

Рычажная скоба (рис. 8.3) предназначена для измерения размеров наружных поверхностей методом сравнения с мерой. С помощью рычажных скоб, имеющих отсчетное устройство, производится проверка размеров партии деталей и отклонений формы (овальности, конусообразности и др.), а также сортировка деталей на размерные группы.

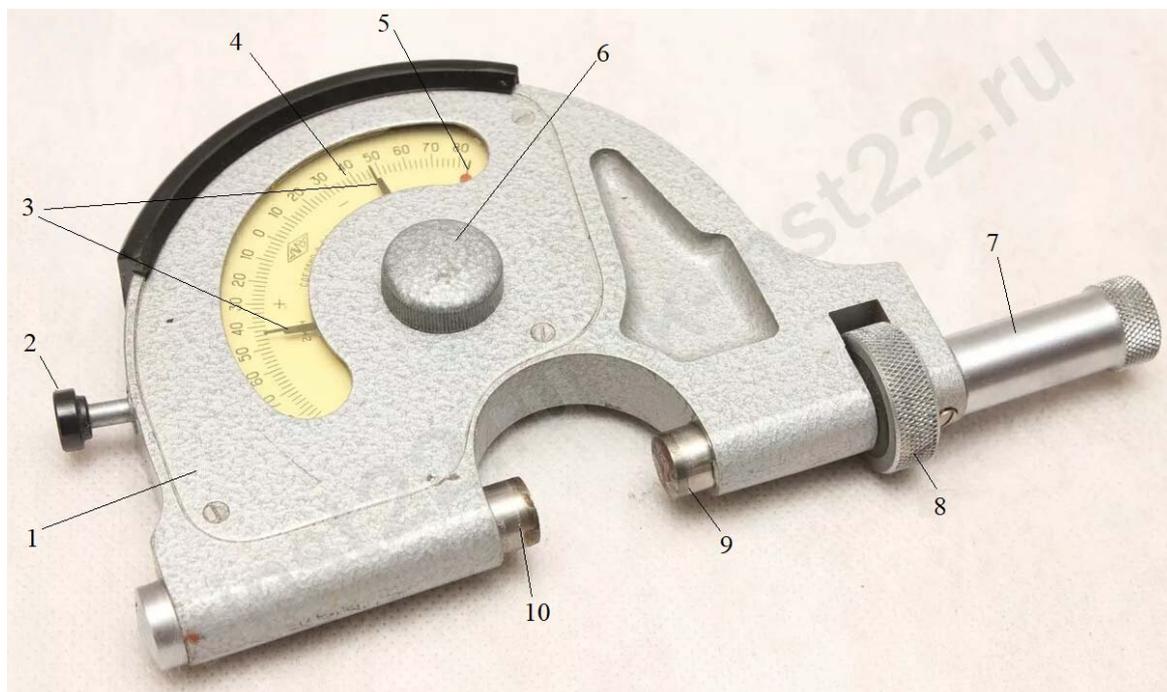


Рис. 8.3. Элементы рычажной скобы:

- 1 – корпус; 2 – кнопки арретира; 3 – указатель пределов допуска; 4 – шкала;
5 – стрелка; 6 – предохранительный колпачок; 7 – стопорный винт;
8 – головка микровинта; 9 – переставная пятка; 10 – пятка подвижная

Перед измерением рычажная скоба настраивается на размер измеряемой детали по блоку концевых мер длины.

Порядок настройки:

1. Снять с рычажной скобы предохранительный колпачок 6.
2. Ослабить стопорный винт 7.
3. Вращением головки микровинта 8 передвинуть переставную пятку 9 вправо так, чтобы расстояние между измерительными плоскостями пяток 9 и 10 было больше установочного размера блока концевых мер длины.

4. Вставить блок концевых мер длины между измерительными плоскостями рычажной скобы и, придерживая левой рукой размерный блок, прижатый к измерительной плоскости переставной пятки 9, правой рукой медленным вращением головки микровинта установить стрелку на нулевой штрих шкалы.

5. Не вынимая блока концевых мер длины из скобы, закрепить переставную измерительную пятку 9 стопорным винтом 8.

6. Проверить правильность установки рычажной скобы, для чего два-три раза нажать и отпустить кнопку арретира 2. Если при этом стрелка рычажной скобы не будет возвращаться в исходное положение, то есть на нулевой штрих, то следует произвести повторную настройку.

7. Убедившись в правильности настройки рычажной скобы, нажать на кнопку арретира, вынуть блок концевых мер длины из рычажной скобы и поставить предохранительный колпачок 6 на место. Предохранительный колпачок предохраняет микровинт рычажной скобы от случайных ударов, от которых измерительный прибор может быть выведен из строя, поэтому без предохранительного колпачка производить измерения рычажной скобой запрещено.

8. Пользуясь кнопкой арретира, ввести в рычажную скобу измеряемую деталь и установить так, чтобы её диаметр совпадал с осью измерительных пяток.

9. В момент совпадения осей измерительных пяток рычажной скобы с диаметром детали произвести отсчет измеряемой величины по шкале прибора.

Контрольные вопросы и задания

1. Для чего предназначена рычажная скоба?
2. Как произвести настройку рычажной скобы?
3. Что такое концевая мера длины и для чего она предназначена?
4. Сколько элементов максимально входит в собираемый блок из концевых мер длины и как он собирается?
5. Назовите основное правило составления набора концевых мер на заданный размер.
6. Каково применение плоскопараллельных концевых мер длины?
7. Из приведенного ниже набора концевых плоскопараллельных мер длины составьте блок размера 72,505 мм: 1,005; 1,01; 1,02; 1,03; 1,04; 1,05; 1,06; 1,07; 1,08; 1,09; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100.

РАЗДЕЛ 2. СТАНДАРТИЗАЦИЯ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9

Национальные стандарты: содержание, виды, категории. Указатель «Национальные стандарты» и его применение

Цель:

- освоение, закрепление и применение в последующей практике теоретического материала по разделу «Стандартизация»;
- приобретение навыков работы со стандартами и определение по ним (видов и категорий стандартов; объекта и области стандартизации; основных положений стандарта; сферы применения стандарта);
- приобретение практических навыков работы с указателем «Национальные стандарты» и выявление по указателю признаков актуализации стандартов.

Нормативные документы и базы данных, используемые в ходе работы: комплект указателей «Национальные стандарты»; фонд стандартов; информационно-поисковая система «Кодекс».

Программа работы:

1. На основе теоретического лекционного материала и приобретенных знаний с использованием стандартов и баз данных или комплекта указателей «Национальные стандарты», по которым осуществляется поиск кода ОКС стандарта, принятых к нему изменений, сведений переиздании (отмене) стандарта и т. д., заполнить табл. 9.1, предварительно ознакомившись с двумя предложенными стандартами, и принять решение о возможности применения данных стандартов.

Таблица 9.1

Обозначение стандарта	ГОСТ ...	ГОСТ ...
Наименование стандарта		
Индекс стандарта		
Регистрационный номер стандарта		
Принадлежность к комплексной системе стандартов (да/нет)		
Номер комплексной системы стандартов		
Аббревиатура комплексной системы стандартов		
Способ применения международного стандарта		

Окончание табл. 9.1

Обозначение стандарта	ГОСТ ...	ГОСТ ...
Код ОКС стандарта		
Категория стандарта		
Вид стандарта		
Объект стандартизации		
Область стандартизации		
Основные положения стандарта		
Изменения, принятые к данному стандарту		
Вывод (указать статус стандарта)		

Если применять стандарты нельзя, то следует указать статус стандарта: стандарт либо отменен, либо переиздан, либо утратил силу на территории РФ, либо в стандарте нет всех принятых к нему изменений.

2. Используя указатели «Национальные стандарты» (либо информационно-поисковую систему «Кодекс» – <http://kodeks.lib.tpu.ru>), осуществить поиск наименования стандарта по его обозначению, указанному для каждого варианта в графе 2 табл. 9.2, 9.3 (по выбору преподавателя).

При применении указателей «Национальные стандарты» по третьему тому определяется код раздела, в котором размещен исследуемый стандарт, а затем, используя первый и второй тома, по коду раздела и обозначению стандарта находится наименование стандарта.

Таблица 9.2

Варианты заданий для студентов

Номер варианта	Задания по вариантам	
	Задание № 2	Задание № 3
1	ГОСТ 13583.9–93	ГРАВИМЕТРЫ НАЗЕМНЫЕ. Общие технические условия
2	ГОСТ 32221–2013	КОНЦЕНТРАТ АПАТИТОВЫЙ. Технические условия
3	ГОСТ 10949–75	МРАМОР. Метод определения содержания серы
4	ГОСТ 8483–81	ПРИБОРЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ. Термины и определения
5	ГОСТ 28185–89	ВОДА. Единицы жесткости

Номер варианта	Задания по вариантам	
	Задание № 2	Задание № 3
6	ГОСТ 22387.3–77	ТЕОДОЛИТЫ. Общие технические условия
7	ГОСТ 15880–83	СПКП. АНАЛИЗАТОРЫ ГАЗОВ. Номенклатура показателей
8	ГОСТ 6031–81	ГРУНТЫ. Классификация
9	ГОСТ 12.2.105–84	ГЕОДЕЗИЯ. Термины и определения
10	ГОСТ Р 51605–2000	СПКП. ПРИБОРЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ. Номенклатура показателей
11	ГОСТ 30672–2019	ГИДРОЛОГИЯ СУШИ. Термины и определения
12	ГОСТ 17789–72	ССБТ. ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. Общие требования
13	ГОСТ Р 51510–99	ОХРАНА ПРИРОДЫ. Почвы. Паспорт почв
14	ГОСТ 23463–79	ПОЧВЫ. Термины и определения
15	ГОСТ 12871–2013	ГОРНАЯ ГРАФИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ. Виды и комплектность
16	ГОСТ 444–2016	УГЛИ КАМЕННЫЕ. Метод определения окисленности
17	ГОСТ Р 58227–2018	РУДЫ ЖЕЛЕЗНЫЕ. Метод магнитного анализа
18	ГОСТ 28802–2013	ОБОРУДОВАНИЕ ОБОГАТИТЕЛЬНОЕ. Термины и определения
19	ГОСТ 21534–76	ГАЗ ПРИРОДНЫЙ. Определение ртути. Часть 1. Подготовка пробы путем хемосорбции ртути на йоде
20	ГОСТ 4.356–85	ЗАМКИ ДЛЯ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ
21	ГОСТ 24328–80	КОНЦЕНТРАТЫ ЦИНКОВЫЕ. Метод определения цинка
22	ГОСТ Р 54362–2011	ГРАФИТ. Метод определения серы
23	ГОСТ 12.2.059–81	АЛМАЗЫ ПРИРОДНЫЕ НЕОБРАБОТАННЫЕ. Требования к сортировке и первичной классификации, сортировке и аттестации
24	ГОСТ 10529–96	РУДЫ ЖЕЛЕЗНЫЕ. Метод магнитного анализа
25	ГОСТ 4.374–85	КАРТОГРАФИЯ. Термины и определения

Таблица 9.3

Варианты заданий для студентов

Номер варианта	Задания по вариантам	
	Задание 2	Задание 3
1	ГОСТ 19138.0–85	ТОПЛИВО НЕФТЯНОЕ. Мазут. Технические условия
2	ГОСТ 12.1.040–83	ГСИ. НОРМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПОВЕРКЕ. Общие требования
3	ГОСТ 10771–82	ДИОДЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ. Методы измерения емкости
4	ГОСТ Р 8.590–2009	МИКРОМЕТРЫ СО ВСТАВКАМИ. Технические условия
5	ГОСТ ИЕС 61029–1–2012	СОЕДИНИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ. Термины и определения
6	ГОСТ ИЕС 60522–2011	СТАЛЬ. Эталоны микроструктуры
7	ГОСТ 15.009–91	АНАЛИЗАТОРЫ ГАРМОНИК. Методы и средства поверки
8	ГОСТ 11282–93 (МЭК 524-75)	ПРИБОРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ. Термины и определения
9	ГОСТ 22511–88	МЕТАЛЛЫ. Методы испытания на растяжение при повышенных температурах
10	ГОСТ 19761–81	ТОЛЩИНОМЕРЫ РАДИОИЗОТОПНЫЕ. Общие технические условия
11	ГОСТ ISO 5358–2012	КОДЫ ДЛЯ МАРКИРОВКИ РЕЗИСТОРОВ И КОНДЕНСАТОРОВ
12	ГОСТ 4.493–89	ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ БЫТОВЫЕ. Метод измерения вибрации
13	ГОСТ 12.4.122–2020	ССБТ. ЛАЗЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. Общие положения
14	ГОСТ 17925–2012	ТЕХНИКА РАДИАЦИОННАЯ. Термины и определения
15	ГОСТ 11859–66	СТАЛЬ. Метод рентгенофлюоресцентного анализа
16	ГОСТ 18061–90	ГСИ. ЧАСТОТОМЕРЫ. Методы и средства поверки
17	ГОСТ 29074–91	ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ. Требования к восстановлению и ремонту

Номер варианта	Задания по вариантам	
	Задание 2	Задание 3
18	ГОСТ Р 56542–2015	ПЛАСТМАССЫ. Метод определения сыпучести
19	ГОСТ Р 51635–2000	ПРИБОРЫ РЕНТГЕНОВСКИЕ. Термины и определения
20	ГОСТ IEC 60238–2012	ПРИБОРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ. Основные размеры
21	ГОСТ IEC 60062–2014	ЛИФТЫ. Технические условия
22	ГОСТ Р МЭК 60252–1–2005	МИКРОСХЕМЫ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ. Основные размеры
23	ГОСТ 29075–91	ВОДА ПИТЬЕВАЯ. Отбор проб для микробиологического анализа
24	ГОСТ 23448–79	ТРАНЗИСТОРЫ БИПОЛЯРНЫЕ И ПОЛЕВЫЕ. Основные параметры
25	ГОСТ 18604.6–74	СРПП. МЕДИЦИНСКИЕ ИЗДЕЛИЯ

3. Используя указатели «Национальные стандарты» (либо информационно-поисковую систему «Кодекс» – <http://kodeks.lib.tpu.ru>), осуществить поиск стандарта по его наименованию.

Наименования стандартов по вариантам приведены в графе 3 табл. 7.2, 7.3 (по выбору преподавателя).

При использовании указателей «Национальные стандарты» необходимо начинать с поиска кода по ключевому слову (области стандартизации, объекту стандартизации или аспекту стандартизации) в алфавитно-предметном указателе третьего тома. Затем, используя первый и второй тома, по коду раздела и наименованию стандарта находится обозначение стандарта.

4. Составить отчет о проделанной работе, который должен включать:

- титульный лист (образец приведен в прил. А);
- цель работы;
- используемое оборудование и материалы;
- ход выполнения работы;
- выводы.

9.1. Основные понятия и термины в области стандартизации

В соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» [12] и Федеральным законом «О стандартизации» [13].

Стандартизация – деятельность по разработке (ведению), утверждению, изменению (актуализации), отмене, опубликованию и применению документов по стандартизации и иная деятельность, направленная на достижение упорядоченности в отношении объектов стандартизации.

Результатом деятельности в области стандартизации является разработка документа по стандартизации.

Документ по стандартизации – документ, в котором для добровольного и многократного применения устанавливаются общие характеристики объекта стандартизации, а также правила и общие принципы в отношении объекта стандартизации.

Документ национальной системы стандартизации – документ по стандартизации, который утвержден и (или) введен в действие в Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти в сфере стандартизации и маркирован соответствующим знаком.

К документам национальной системы стандартизации относятся:

1) в соответствии с ГОСТ Р 1.12 [14]:

- национальные стандарты Российской Федерации (в том числе основополагающие и предварительные);
- правила и нормы стандартизации;
- рекомендации по стандартизации;
- информационно-технические справочники;
- общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации;
- стандарты организаций;
- техническая спецификация (отчет);

2) в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 1.1 [15] – технические условия.

Национальный стандарт (Российской Федерации) – документ национальной системы стандартизации в статусе стандарта, который предназначен для всеобщего применения и срок действия которого неограничен.

Национальная система стандартизации (НСС) – механизм обеспечения согласованного взаимодействия участников работ по стандартизации на национальном, межгосударственном и международном уровнях, осуществляемого на основе принципов стандартизации при разработке, утверждении, опубликовании, применении, изменении и

отмене соответствующих документов по стандартизации, с использованием нормативно-правового, информационного, научно-методического, финансового и иного ресурсного обеспечения.

Национальным органом по стандартизации в РФ является Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт).

Основополагающий национальный стандарт (Российской Федерации) – документ национальной системы стандартизации в статусе стандарта, который устанавливает правила создания и функционирования этой системы и является обязательным для всех участников этих работ.

Предварительный национальный стандарт (Российской Федерации) – документ национальной системы стандартизации в статусе стандарта, который предназначен для всеобщего применения и срок действия которого ограничен.

Информационно-технический справочник – документ национальной системы стандартизации, содержащий систематизированные данные в определенной области и включающий в себя описание технологий, процессов, методов, способов, оборудования и иные данные.

Правила стандартизации – документ национальной системы стандартизации, содержащий положения организационного и методического характера, которые дополняют или конкретизируют отдельные положения основополагающих национальных стандартов, а также определяют порядок и методы проведения работ по стандартизации и оформления результатов таких работ. Пример обозначения правил заполнения и представления каталожных листов продукции – ПР 50-718.

Норма – положение, устанавливающее количественные или качественные критерии, которые должны быть удовлетворены. Обозначение норм: Нормы 35-01, НРБ – 96. Правила и нормы, разрабатываемые федеральными органами исполнительной власти, могут быть объединены в один документ, например строительные нормы и правила – СНиП, санитарные правила и нормы – СанПиН.

Рекомендации – документ национальной системы стандартизации, который предназначен для всеобщего применения и содержит добровольные для применения организационно-методические положения в отношении работ по стандартизации, например Р 50.1.44-2003 «Рекомендации по разработке технических регламентов».

Общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации – документ по стандартизации, предназначенный для всеобщего применения, распределяющий технико-экономическую и социальную информацию в соответствии с ее классификацией (классами, группами, видами и другим) и являющийся обязательным для

применения в государственных информационных системах и при межведомственном обмене информацией в порядке, установленном федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации.

Создание Общероссийских классификаторов технико-экономической и социальной информации – главный результат работ по единой системе классификации и кодированию.

Классификация – это разделение множества объектов на классификационные группировки по сходству или различию на основе определенных признаков в соответствии с принятыми правилами.

Кодирование – это образование и присвоение по определенным правилам кодов объекту или группе объектов, позволяющих заменить несколькими знаками наименования этих объектов.

Примером ранее разработанных и наиболее часто применяемых являются общероссийский классификатор продукции (ОКП) – ОК 005, общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов (ОК ЕСКД) – ОК 012. Разработка ОК охватывает все социально-экономические сферы деятельности, например:

- общероссийский классификатор валют – ОК (МК (ИСО 4217) 003) 014;
- общероссийский классификатор гидроэнергетических ресурсов – ОК 030;
- общероссийский классификатор полезных ископаемых и подземных вод – ОК 032;
- общероссийский классификатор специальностей по образованию – ОК 009.

Свод правил – документ по стандартизации, утвержденный федеральным органом исполнительной власти или Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом», предназначенный для всеобщего применения и содержащий правила и общие принципы в отношении процессов в целях обеспечения соблюдения требований технических регламентов. Пример: свод правил по проектированию и строительству СП 23-101-2000 «Проектирование тепловой защиты зданий».

Техническая спецификация (отчет) – документ по стандартизации, утвержденный техническим комитетом по стандартизации и устанавливающий характеристики, правила и принципы в отношении инновационной продукции (работ, услуг), процессов, исследований (испытаний), измерений, включая отбор образцов, и методов испытаний.

Стандарт организации – документ по стандартизации, утвержденный данной организацией или индивидуальным предпринимателем

для совершенствования производства и обеспечения качества продукции, выполнения работ, оказания услуг.

Под организацией понимается любое юридическое лицо, в том числе государственная корпорация и саморегулируемая организация.

Примером стандарта организации является стандарт ТПУ: СТО ТПУ 2.5.01-2011 «Система образовательных стандартов. РАБОТЫ ВЫПУСКНЫЕ КВАЛИФИКАЦИОННЫЕ, ПРОЕКТЫ И РАБОТЫ КУРСОВЫЕ. Структура и правила оформления».

На межгосударственном уровне стандартизации в соответствии с ГОСТ 1.1 устанавливаются следующие понятия:

- **Нормативный документ** – документ, устанавливающий правила, общие принципы или характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов.

- **Стандарт** – нормативный документ, который разработан на основе консенсуса, принят признанным на соответствующем уровне органом и устанавливает для всеобщего и многократного использования правила, общие принципы или характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов, и который направлен на достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области.

- **Технические условия** – документ, устанавливающий технические требования, которым должна удовлетворять продукция или услуга, а также процедуры, с помощью которых можно установить, соблюдены ли данные требования. Пример обозначения технических условий – ТУ 4859-184-00165600-96.

9.2. Категории стандартов

Весь фонд стандартов, действующих на территории РФ, включает следующие категории:

- национальные стандарты РФ (индекс стандартов ГОСТ Р);
- межгосударственные стандарты (индекс стандартов ГОСТ);
- международные (индекс стандартов ИСО, МЭК, МСЭ) и региональные (индекс стандартов ЕС) стандарты;
- стандарты организаций.

Межгосударственный стандарт – региональный стандарт, принятый Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации и доступный большому кругу пользователей.

В Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации входят 12 стран бывшего СССР, кроме стран Прибалтики.

Международный стандарт – стандарт, принятый международной организацией по стандартизации и доступный широкому кругу пользователей.

Международные и региональные организации:

- ИСО – международная организация по стандартизации (индекс стандартов ИСО);
- МЭК – международная электротехническая комиссия, сфера деятельности которой связана с электротехникой и электроникой (индекс стандартов МЭК);
- МСЭ – международный союз электросвязи (индекс стандартов МСЭ).

Региональный стандарт – стандарт, принятый региональной организацией по стандартизации (например, стандарты, принятые ЕС – Европейским союзом) [15].

9.3. Виды стандартов

Вид стандарта – характеристика, определяющаяся его содержанием в зависимости от объекта стандартизации.

В зависимости от назначения и содержания ГОСТ 1.1 [15] установил следующие основные виды стандартов:

- стандарты основополагающие;
- стандарты на термины и определения;
- стандарты на продукцию;
- стандарты на услугу;
- стандарты на процессы (работы);
- стандарты на методы контроля.
- стандарты на совместимость;
- стандарты на номенклатуру показателей.

Основополагающий стандарт – стандарт (нормативный документ), имеющий широкую область распространения и (или) содержащий общие положения для определенной области деятельности.

Основополагающие стандарты устанавливают общие организационно-методические положения для определенной области деятельности или общетехнические требования и правила, обеспечивающие взаимопонимание, техническое единство и взаимосвязь различных областей науки, техники и производства и не противоречащие законодательству.

Основополагающий стандарт может применяться непосредственно в качестве стандарта или служить основой для разработки других стандартов (иных нормативных, технических документов).

Примером основополагающих стандартов могут быть нормативные документы по организации национальной системы стандартизации в Российской Федерации, комплексные стандарты ЕСКД, ЕСТД, ЕСПД, ГСИ и т. д.

Стандарт на термины и определения – стандарт, устанавливающий термины, к которым даны определения, содержащие необходимые

и достаточные признаки понятия, используемые в стандартизации и смежных видах деятельности.

В некоторых случаях определения могут отсутствовать и (или) могут быть приведены примечания, иллюстрации, буквенные обозначения.

Стандарт на продукцию – стандарт, устанавливающий требования, которым должна удовлетворять продукция или группа однородной продукции, с тем чтобы обеспечить ее соответствие своему назначению.

Стандарт на продукцию может включать, кроме требований соответствия назначению, классификацию, конструктивные требования, типы, основные параметры или размеры, требования по безопасности и экологии, порядок приемки, методы контроля, требования к маркировке, упаковке, транспортированию и хранению, а иногда и технологические или эксплуатационные требования.

Стандарт на продукцию может содержать полную номенклатуру требований к ней или устанавливать только часть требований к продукции, например, только конструктивные требования, типы, основные параметры и/или размеры.

Стандарт на услугу – стандарт, устанавливающий требования, которым должна удовлетворять услуга или группа однородных услуг, с тем чтобы обеспечить соответствие услуги ее назначению.

Стандарты на услуги включают бытовое обслуживание населения, общественное питание, туристско-экскурсионное обслуживание, социально-культурные услуги, жилищно-коммунальное хозяйство, транспорт, автосервис, связь, страхование, банковское дело, торговлю, научно-техническое и информационно-рекламное обслуживание и прочие сферы деятельности.

Стандарт на процесс – стандарт, устанавливающий требования, которым должен удовлетворять процесс, с тем чтобы обеспечить соответствие процесса его назначению.

Стандарт на методы контроля – стандарт, устанавливающий методы, способы, приемы, методики проведения испытаний, измерений и/или анализа.

Стандарт на совместимость – стандарт, устанавливающий требования, которые касаются совместимости различных объектов стандартизации.

Стандарт на номенклатуру показателей – стандарт, содержащий перечень показателей, для которых значения или характеристики должны быть указаны при установлении требований к продукции, процессу или услуге в других нормативных или технических документах.

9.4. Область и объект стандартизации

Объект стандартизации – продукция (работы, услуги) (далее – продукция), процессы, системы менеджмента, терминология, условные обозначения, исследования (испытания) и измерения (включая отбор образцов), а также методы испытаний, маркировка, процедуры оценки соответствия и иные объекты.

Под объектом стандартизации в широком смысле понимают продукцию, процесс или услугу, которые в равной степени относятся к любому материалу, компоненту, оборудованию, системе, их совместимости, правилу, процедуре, функции, методу или деятельности.

Услуга как объект стандартизации охватывает услуги для населения, включая условия обслуживания, а также производственные услуги для предприятий и организаций.

Стандартизация может ограничиваться определенными аспектами любого объекта. Например, применительно к обуви – размеры и критерии прочности.

Аспект стандартизации – краткое выражение обобщенного содержания устанавливаемых стандартом положений. Аспект стандартизации указывают в наименовании стандарта в виде подзаголовка [15].

Область стандартизации – совокупность взаимосвязанных объектов стандартизации [15].

Областью стандартизации можно считать, например, машиностроение, нефтепродукты, горнодобывающее оборудование, средства вычислительной техники, транспорт, электронику, величины и единицы величин и т. д.

9.5. Комплексные системы стандартов

Комплексные системы стандартов – это результат комплексной стандартизации.

Комплекс (система) стандартов – совокупность взаимоувязанных стандартов, объединенных общей целевой направленностью и устанавливающих согласованные требования к взаимоувязанным объектам стандартизации.

Комплексные системы стандартов направлены на решение задач, обеспечивающих повышение эффективности производства высококачественной продукции, в частности, на упорядочение конструкторской и технологической документации, на упорядочение документации в сферах обращения продукции, на обеспечение единства измерений, безопасности, охраны окружающей среды и т. д.

В каждую систему входит несколько десятков общетехнических стандартов, охватывающих все стадии жизненного цикла изделий: исследование и проектирование, подготовку производства, производство, эксплуатацию и ремонт.

Каждой комплексной системе стандартов присвоен свой номер – одна или две цифры, отделенные точкой в регистрационном номере, и свое наименование, которое приводится на обложке стандарта первой строкой. Некоторые наименования комплексных систем стандартов имеют аббревиатуру. Например, Единая система конструкторской документации имеет аббревиатуру – ЕСКД.

Федеральное агентство по техническому регулированию проводит работу по совершенствованию и упорядочению комплексных систем стандартов.

В настоящее время действуют комплексные системы стандартов (табл. 9.4).

Таблица 9.4

Комплексные системы стандартов

Номер комплексной системы стандартов	Аббревиатура комплексной системы стандартов	Название комплексной системы	Индексы стандартов, входящих в комплексную систему
1	–	Стандартизация в Российской Федерации	ГОСТ Р
2	ЕСКД	Единая система конструкторской документации	ГОСТ ГОСТ Р
3	ЕСТД	Единая система технологической документации	ГОСТ
6	–	Унифицированная система документации	ГОСТ ГОСТ Р
7	СИБИД	Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу	ГОСТ ГОСТ Р
8	ГСИ	Государственная система обеспечения единства измерений	ГОСТ, ГОСТ Р
9	ЕСЗКС	Единая система защиты от коррозии и старения	ГОСТ ГОСТ Р

Номер комплексной системы стандартов	Аббревиатура комплексной системы стандартов	Название комплексной системы	Индексы стандартов, входящих в комплексную систему
12	ССБТ	Система стандартов безопасности труда	ГОСТ, ГОСТ Р
13	–	Репрография	ГОСТ Р
14	–	Экологический менеджмент	ГОСТ, ГОСТ Р
15	СРПП	Система разработки и постановки продукции на производство	ГОСТ, ГОСТ Р
17	–	Охрана природы	ГОСТ, ГОСТ Р
18	–	Технологии авиатопливообеспечения	ГОСТ ГОСТ Р
19	ЕСПД	Единая система программной документации	ГОСТ
20	–	Комплексная система общих технических требований	ГОСТ
21	СПДС	Система проектной документации по строительству	ГОСТ Р
22	–	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	ГОСТ Р
23	–	Обеспечение износостойкости изделий	ГОСТ, ГОСТ Р
24	–	Автоматизированные системы управления дорожным движением	ГОСТ, ГОСТ Р
27	–	Надежность в технике	ГОСТ Р
28	–	Система технического обслуживания и ремонта техники	ГОСТ
30	–	Система стандартов эргономики и технической эстетики	ГОСТ, ГОСТ Р
33	–	Единый российский страховой фонд документации	ГОСТ Р
34	–	Информационная технология	ГОСТ Р
43	–	Информационное обеспечение техники и операторской деятельности	ГОСТ Р

9.6. Применение международных, региональных или национальных стандартов других стран

Обозначение национальных стандартов РФ, имеющих аутентичный текст (без изменений и дополнений) соответствующих международных, региональных или национальных стандартов других стран на русском языке (идентичный стандарт), состоит из индекса «ГОСТ Р», обозначения соответствующего международного (регионального) стандарта (без указания года его принятия) и отделенного от него тире года утверждения национального стандарта РФ, например:

- 1) ГОСТ Р ИСО 9001–2001;
- 2) ГОСТ Р ИСО/МЭК 10746-2-2000.

Данный способ применения международного стандарта называют «методом обложки», или прямым применением международного стандарта.

Обозначение национальных стандартов РФ, имеющих аутентичный текст соответствующих международных, региональных или национальных стандартов других стран на русском языке с изменениями или дополнительными требованиями, отражающими специфику потребностей национальной экономики (модифицированный стандарт), состоит из обозначения национального стандарта и приведенного ниже в скобках обозначения примененного международного (регионального) стандарта, например:

- 1) ГОСТ Р 51885–2002 (ИСО 7000: 1990);
- 2) ГОСТ Р 52377–2004 (МЭК 60634: 1998).

Данный способ применения международного стандарта называют косвенным применением международного стандарта, или применением с изменениями.

9.7. Указатель «Национальные стандарты»

Информацию о действующих национальных стандартах, сроках их действия, изменениях к ним пользователи получают через годовые и ежемесячные информационные указатели «Национальные стандарты Российской Федерации».

Ежегодный указатель «Национальные стандарты» выходил до 2005 года в четырех томах, с 2005 года – в трех томах, составлен по кодам Общероссийского классификатора стандартов ОК (МК (ИСО/ИНФКО МКС) 001) 001, который входит в состав единой системы классифицирования технико-экономической и социальной информации (ЕСКК) Российской Федерации. Общероссийский классификатор стандартов (ОКС) гармонизирован с Международным классификатором стандартов (МКС) и Межгосударственным классификатором стандартов.

Все действующие стандарты на текущий год размещены в 1-м, 2-м, 3-м томах указателя «Национальные стандарты» по кодам ОКС с указанием обозначений и наименований стандартов. Обозначения стандартов внутри кодов расположены по порядку возрастания обозначений в последовательности: ГОСТ, ГОСТ Р, РСТ РСФСР. В 3-м томе приведен перечень действующих на текущий год Общероссийских классификаторов и алфавитно-предметный указатель. Алфавитно-предметный указатель построен по ключевым словам, выбранным из наименований позиций ОКС, с указанием кодов Общероссийского классификатора стандартов.

Весь перечень действующих на текущий год стандартов в порядке возрастания их номеров приведен в 3-м томе. В нем для каждого стандарта указаны код ОКС, группа стандарта, к которой относится стандарт. В графе «Для отметок» соответственно для этих стандартов могут быть указаны или сроки прекращения действия стандартов, или сроки введения вновь изданных опережающих стандартов, или в скобках указывается номер изменения, номер и год информационного указателя, в котором оно опубликовано.

Если стандарт введен взамен другого, то указывается, взамен какого документа он введен или в какой части его заменяет.

Дается информация в виде сноски в случае, если статус стандарта изменился, то есть стандарт:

- утратил силу на территории Российской Федерации;
- принят в качестве межгосударственного стандарта;
- действует только на территории Российской Федерации.

В указателе у стандартов индекс стандарта «ГОСТ» не проставляется.

9.8. Информационно-поисковая система «Кодекс»

Для поиска стандартов также можно использовать информационно-поисковую систему «Кодекс», которая содержит актуализируемые электронные версии действующих на территории РФ нормативных документов.

В ТПУ с 2002 г. успешно функционирует информационно-поисковая система «Кодекс», пользующаяся в настоящее время повышенным спросом. Для работы с базой организован широкий доступ для сотрудников и студентов. База регулярно актуализируется и пополняется новыми нормативными документами. Она проста и удобна в обращении, что позволяет сократить время поиска и затраты на получение необходимой информации, содержащейся в стандартах. Адрес базы данных «Кодекс» <http://kodeks.lib.tpu.ru>.

Также можно использовать официальный сайт национального органа по стандартизации Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (краткое наименование – Росстандарт), где приводится

информация о действующих стандартах – <http://www.gost.ru/wps/portal/>, далее Информационные ресурсы по стандартизации, затем – Каталог стандартов.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие документы охватывает понятие «нормативный документ»?
2. Чем отличаются правила по стандартизации от рекомендаций по стандартизации? Приведите пример того и другого документа.
3. Что такое вид стандарта? Перечислите основные виды стандартов.
4. Какие требования предъявляются к стандартам на методы контроля?
5. В каком источнике содержится информация о действующих национальных стандартах РФ?
6. Какой вариант применения международного стандарта в РФ реализован в стандарте ГОСТ Р ИСО 9000–2001(судя по обозначению)?
7. Какой вариант применения международного стандарта в РФ реализован в стандарте ГОСТ Р 51294.9–2002 (ИСО/МЭК 15438–2001)?
8. Какой основной документ является результатом работ по Единой системе классификации и кодирования технико-экономической информации?
9. Какую информацию получает пользователь из указателя «Национальные стандарты»?
10. Какие, на ваш взгляд, методы и принципы стандартизации применены при разработке и составлении указателя «Национальные стандарты»?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебно-методическое пособие состоит из двух разделов, посвященных практической метрологии и стандартизации.

Раздел «Метрология» содержит восемь лабораторных работ с теоретическими пояснениями. Условно лабораторные работы данного раздела разбиты на три части. При освоении первой части студенты получают теоретические знания по определению классификационных признаков средств измерений и их нормируемых метрологических характеристик, а также знакомятся с реальными приборами и получают практические навыки работы с ними.

Вторая часть раздела «Метрология» посвящена определению погрешности измерений различными методами измерений (прямой и косвенный, однократный и многократный). Для этих методов измерений рассмотрены алгоритмы обработки результатов измерений с учетом погрешности записи числа и правил округления. Показано, что на значение окончательной погрешности измерений влияют различные составляющие, а именно используемое средство измерений, методы измерений, условия измерений и др.

В третьей части рассмотрено понятие «неопределенность измерений» и подробно описаны основные принципы и алгоритмы ее экспериментального определения.

В результате освоения материала этого раздела студент сможет применять на практике нормативные и технические документы, работать с различным видом оборудования и проводить эксперименты по поставленной задаче, а также обрабатывать полученные результаты измерений с определением их точности.

Раздел «Стандартизация» содержит одну лабораторную работу. В этом разделе рассмотрены основные понятия в области стандартизации, категории и виды стандартов с примерами, приведены виды нормативных документов, действующих на территории РФ. Освоение материала этого раздела должно сформировать у студента навыки определения признаков актуализации стандартов, практические навыки работы с нормативными документами.

Авторы выражают огромную благодарность М.М. Чухланцевой, Н.М. Степаненко, Г.М. Бабиковой, Ю.К.Рыбину за огромный вклад в разработку большинства лабораторных работ.

Также авторы благодарят коллектив отделения автоматизации и робототехники за конструктивную критику и идеи по улучшению учебно-методического пособия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об обеспечении единства измерений : федер. закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ (с изменениями на 11 июня 2021 года) (редакция, действующая с 28 декабря 2021 года). – Режим доступа: <http://kodeks.lib.tpu.ru/docs/>.
2. РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 60 с.
3. ГОСТ 8.009–84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – Москва : Изд-во стандартов, 1984. – 27 с.
4. ГОСТ 8.401–80 ГСИ. Классы точности средств измерений. – Москва : Изд-во стандартов, 1980. – 11 с.
5. Р 50.2.038–2004 Рекомендации по метрологии. ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений. – Москва : Изд-во стандартов, 2004. – 11 с.
6. ГОСТ Р 8.736–2011 ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. – Москва : Изд-во стандартов, 2011. – 23 с.
7. МИ 2083-90 ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей. – Москва : Изд-во стандартов, 1991. – 11 с.
8. МИ 1317-2004 Методические указания. ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы предоставления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров. – Москва : ЭС НТИ «Техэксперт», 2004. – 53 с.
9. РМГ 91-2019. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. ГСИ. Использование понятий «погрешность измерений» и «неопределенность измерений». – Москва : Стандартинформ, 2019. – 24 с.
10. ГОСТ 34100.1–2017 / ISO/IEC Guide 98-1:2009. Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководства по выражению неопределенности измерения. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 28 с.
11. ГОСТ 34100.3–2017 / ISO/IEC Guide 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 112 с.
12. О техническом регулировании : федер. закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ (с изменениями на 2 июля 2021 года) (редакция, действующая с 23 декабря 2021 года). – Режим доступа: <http://kodeks.lib.tpu.ru/docs/>.

13. О стандартизации : федер. закон от 29.06.2015 № 162-ФЗ (с изменениями на 30 декабря 2020 года). – Режим доступа: <http://kodeks.lib.tpu.ru/docs/>.

14. ГОСТ Р 1.12–2020. Стандартизация в Российской Федерации. Термины и определения. – Москва : Изд-во стандартов, 2020. – 15 с.

15. ГОСТ 1.1–2002. Межгосударственная система стандартизации. Термины и определения. – Москва : Изд-во стандартов, 2002. – 60 с.

16. ГОСТ 9038-90. Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия. – Москва : Изд-во стандартов, 1991. – 14 с.

17. ГОСТ 11098-75. Скобы с отчетным устройством. Технические условия. – Москва : Изд-во стандартов, 1975. – 10 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Пример оформления титульного листа отчета по лабораторной работе (разный размер и шрифт у приложений)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа _____
Направление подготовки _____
Отделение школы (НОЦ) _____

НАЗВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

ОТЧЕТ
по лабораторной работе № _____
по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация»

Выполнил студент гр. _____ (Номер группы) _____ (Подпись) _____ (Фамилия И. О.)
_____ 20__ г.
(дата сдачи отчета)

Отчет принят:

_____ (Ученая степень, ученое звание, должность) _____ (Подпись) _____ (Фамилия И.О.)
_____ 20__ г.
(дата проверки отчета)

Томск 20__ г.

Примеры обозначения классов точности

Формула для определения пределов допускаемой основной погрешности	Пределы допускаемой основной погрешности	Обозначение класса точности		Примечания
		в документации	на СИ	
Абсолютная: $\Delta = \pm a$	При измерении постоянного тока $\Delta = \pm 0,7 \text{ А}$	КТ М	М	X – значение измеряемой величины на входе (выходе) средств измерений или число делений, отсчитанных по шкале;
Абсолютная: $\Delta = \pm(a + bX)$	При измерении линейно изменяющегося напряжения $\Delta = \pm(1 + 0,57X) \text{ мА}$	КТ С	С	a, b – положительные числа, не зависящие от X
Приведенная: $\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100 \% = \pm p$	$\gamma = \pm 1,5 \%$	КТ 1,5	1,5	X_N выражено в единицах величины на входе (выходе) СИ; X_N определяется длиной шкалы или ее частью
	$\gamma = \pm 0,5 \%$	КТ 0,5	0,5	
Относительная: $\delta = \frac{\Delta}{X_{изм}} \cdot 100 \% = \pm q$	$\delta = \pm 0,5 \%$	КТ 0,5	0,5	
Относительная: $\delta =$ $= \pm \left[c + d \left(\left \frac{X_k}{X} \right - 1 \right) \right]$	$\delta =$ $= \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\left \frac{X_k}{X} \right - 1 \right) \right]$	КТ 0,02/ 0,01	0,02/ 0,01	X_k – больший по модулю из пределов измерений

**Правила округления погрешности (неопределенности)
и записи результатов измерений**

Форма представления результатов должна соответствовать МИ 1317 [8].

При симметричной доверительной погрешности результат однократного измерения представляют в форме $x_{\text{изм}}; \pm \Delta; P$ или $x_{\text{изм}} \pm \Delta(P)$.

Например, результат измерения напряжения следует представить в виде

$$U = 0,904 \text{ В}; \Delta = \pm 0,027 \text{ В}; P = 0,95,$$

или

$$(0,904 \pm 0,027) \text{ В}; P = 0,95.$$

В соответствии с ГОСТ Р 8.736 [6] погрешность измерений выражается числом с одной или двумя значащими цифрами.

Эмпирически были установлены следующие правила округления рассчитанного значения погрешности и полученного результата измерения:

1. Если первая значащая цифра числа (это первая цифра числа, не равная нулю), выражающего погрешность, равна 1 или 2, то это значение погрешности должно содержать две значащих цифры. Ниже приведены примеры округления погрешностей измерения.

Вычисленная погрешность:	Округленная погрешность:
$\Delta = 137,153 \text{ м};$	$\Delta = 140 \text{ м};$
$\Delta = 2,42 \text{ кг};$	$\Delta = 2,4 \text{ кг};$
$\Delta = 0,01544 \text{ А}.$	$\Delta = 0,015 \text{ А}.$

2. Если первая значащая цифра числа, выражающего погрешность, равна 3 и более, то значение погрешности должно содержать одну значащую цифру. Ниже приведены примеры округления погрешностей измерения.

Вычисленная погрешность:	Округленная погрешность:
$\Delta = 0,0327 \text{ В};$	$\Delta = 0,03 \text{ В};$
$\Delta = 516,78 \text{ Дж};$	$\Delta = 500 \text{ Дж};$
$\Delta = 78,59 \text{ Гн}.$	$\Delta = 80 \text{ Гн}.$

3. При записи результатов измерений числовое значение результата измерения должно оканчиваться цифрой того же разряда, что и значение округленной погрешности. Также необходимо применять правило использования кратных и дольных единиц «измеренное значение должно лежать в интервале $[0,1 \dots 1000]$ ».

Ниже приведены примеры записи результатов измерений.

Вычисленная погрешность:	Округленная погрешность:
$C_{\text{изм}} = 0,0014964 \text{ Ф}; \Delta = \pm 0,000123 \text{ Ф};$	$C_{\text{изм}} = (1,50 \pm 0,12) \text{ мФ};$
$m_{\text{изм}} = 34667,83 \text{ г}; \Delta = \pm 867,15 \text{ г};$	$m_{\text{изм}} = (34,7 \pm 0,9) \text{ кг};$
$t_{\text{изм}} = 29,7562 \text{ с}; \Delta = \pm 0,0172 \text{ с}.$	$t_{\text{изм}} = (29,756 \pm 0,017) \text{ с}.$

4. Число цифр в промежуточных вычислениях при обработке результатов измерений должно быть на две больше, чем в окончательном результате.

5. Погрешность при промежуточных вычислениях должна быть выражена не более чем тремя значащими цифрами.

6. Сохраняемую значащую цифру в погрешности при округлении увеличивают на единицу, если отбрасываемая цифра незначащего младшего разряда больше либо равна пяти, и не изменяют, если она меньше пяти.

Критические значения для критерия Граббса

<i>n</i>	Значение при уровне значимости q		<i>n</i>	Значение при уровне значимости q	
	Свыше 1 %	Свыше 5 %		Свыше 1 %	Свыше 5 %
4	1,496	1,481	21	3,031	2,733
5	1,764	1,715	22	3,060	2,758
6	1,973	1,887	23	3,087	2,781
7	2,139	2,020	24	3,112	2,802
8	2,274	2,126	25	3,135	2,822
9	2,387	2,215	26	3,157	2,841
10	2,482	2,290	27	3,178	2,859
11	2,564	2,355	28	3,199	2,876
12	2,636	2,412	29	3,218	2,893
13	2,699	2,462	30	3,236	2,908
14	2,755	2,507	31	3,253	2,924
15	2,806	2,549	32	3,270	2,938
16	2,852	2,585	33	3,286	2,952
17	2,894	2,620	34	3,301	2,965
18	2,932	2,651	36	3,330	2,991
19	2,968	2,681	38	3,356	3,014
20	3,001	2,709	40	3,381	3,036

Приложение Д

Значения распределения Стьюдента

$\nu = n - 1$	$\alpha, \%$			$\nu = n - 1$	$\alpha, \%$		
	5	1	0,1		5	1	0,1
1	12,71	63,66	636,6	18	2,1	2,88	3,92
2	4,3	9,92	31,6	19	2,09	2,86	3,88
3	3,18	5,84	12,92	20	2,09	2,85	3,85
4	2,78	4,6	8,61	21	2,08	2,83	3,82
5	2,57	4,03	6,87	22	2,07	2,82	3,79
6	2,45	3,71	5,96	23	2,07	2,81	3,77
7	2,37	3,5	5,41	24	2,06	2,8	3,75
8	2,31	3,36	5,04	25	2,06	2,79	3,73
9	2,26	3,25	4,78	26	2,06	2,78	3,71
10	2,23	3,17	4,59	27	2,05	2,77	3,69
11	2,2	3,11	4,44	28	2,05	2,76	3,67
12	2,18	3,05	4,32	29	2,05	2,76	3,66
13	2,16	3,01	4,22	30	2,04	2,75	3,65
14	2,14	2,98	4,14	40	2,02	2,7	3,55
15	2,13	2,95	4,07	60	2	2,66	3,46
16	2,12	2,92	4,02	120	1,98	2,62	3,37
17	2,11	2,9	3,97	∞	1,96	2,58	3,29
<i>P</i>	0,95	0,99	0,999	<i>P</i>	0,95	0,99	0,999

Учебное издание

СПИРИДОНОВА Анна Сергеевна
КУЗЬМИНСКАЯ Елена Вячеславовна
СКОРОСПЕШКИН Максим Владимирович

МЕТРОЛОГИЯ И ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Учебно-методическое пособие

Корректурa *Е.Л. Тен*
Компьютерная верстка *Д.В. Сотникова*
Дизайн обложки *А.И. Сидоренко*

Подписано к печати 20.08.2024. Формат 60×84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать CANON. Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 5,05.
Заказ 282-24. Тираж 100 экз.



ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ