

## ВВЕДЕНИЕ

Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы студентов разработаны в рамках общепрофессиональной дисциплины ОПД.Ф.05 «Метрология, стандартизация и сертификация» учебного плана по ряду специальностей и направлений подготовки дипломированных специалистов и подготовки бакалавров и магистров и предназначены для организации и контроля самостоятельной работы студентов.

Задачей дисциплины является формирование у студентов достаточных знаний в области основ метрологии, стандартизации и сертификации, позволяющих использовать современные измерительные технологии, которые представляют собой последовательность действий, направленных на получение измерительной информации требуемого качества, что отражает современные подходы к решению сложных научно-технических задач.

Одна из таких задач связана с поиском и установлением существенных закономерностей изменения значений измеряемых величин, которые наиболее адекватно отражают состояния исследуемых объектов. Следует отметить, что данная задача еще весьма далека от какого-то окончательного, если таковое вообще существует, решения, которое непосредственно связано с разработкой методов и средств измерений, разработкой основ обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений и многое другое, т. е. с динамикой развития такой области знаний как общая метрология. И тем более решение задачи невозможно без постоянного совершенствования общей теории измерений.

Высокоточные измерения и последующая обработка полученных результатов приобретают все большее значение во многих сферах человеческой деятельности. Как правило, измерения непосредственно связаны с задачами оценки (распознавания) состояний исследуемых объектов, т.е. с поиском закономерностей взаимосвязи и изменения значений измеряемых величин. Такой поиск невозможен без использования методов математической обработки результатов измерений.

Существует большое количество публикаций как по общей метрологии, так и по методам обработки результатов измерений. Здесь можно отметить таких авторов, как В.А. Кузнецов, И.Ф. Шишкин, А.Г. Сергеев, С.Г. Рабинович, П.В. Новицкий, Н.А. Зограф, Е.Ф. Долинский, В.А. Грановский, Л.З. Румшицкий, В.В. Налимов, Э.И. Цветков, Е.И. Куликов, В.Н. Вапник, Э.М. Браверман, И.Б. Мучник и др. Вместе с тем, как показывает практика, существуют трудности в усвоении и понимании студентами связи задач измерений и положений общей

метрологии с характером и обоснованностью методов математической обработки получаемых результатов.

Метрология стала такой наукой, на достижения, средства и методы которой опираются в своем развитии как фундаментальные, так и прикладные научные направления. Развитие научных теорий и их практическое применение невозможны без первичной информации, получаемой путем измерений в процессе научного познания. Без измерений не может сегодня обойтись ни одна наука, поэтому метрология находится в связи и отношениях со всеми научными дисциплинами.

Цель данного учебно-методического пособия – представить указанную связь, насколько это возможно, в четком и систематизированном виде.

Данные методические рекомендации содержат примеры решений типовых метрологических задач, варианты тестовых заданий, рекомендации по выполнению виртуальных лабораторных работ, обширный материал для самостоятельного решения и подготовки к контрольным работам по учебному курсу.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

Самостоятельная работа студентов (СРС) основана на самостоятельном формировании у учащихся знаний, умений, навыков и компетенций и направлена на реализацию принципов обучения, связанных с саморазвитием личности в процессе обучения, формированием активных методов и технологий познавательной деятельности.

На преподавателей возлагается управление, включающее планирование работы, консультирование студентов, текущий контроль и анализ результатов учебной работы.

При этом планируемый объем СРС занимает большую часть (от 55% до 70%) учебной нагрузки студентов университета.

### **Нормированные виды СРС (без участия преподавателей)**

Основными видами самостоятельной работы студентов без участия преподавателей при освоении в университете образовательных программ являются:

- формирование и изучение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы;
- написание рефератов;
- подготовка к семинарам и лабораторным работам, их оформление;
- выполнение домашних заданий в виде: решения отдельных задач, проведения типовых расчетов, расчетно-компьютерных и индивидуальных работ по отдельным разделам содержания дисциплин;
- компьютерный текущий самоконтроль и контроль успеваемости на базе электронных обучающих и аттестующих тестов;
- выполнение курсовых работ (проектов) в рамках дисциплин;
- выполнение учебно-исследовательской работы (УИРС);
- прохождение и оформление результатов практик;
- выполнение выпускной квалификационной работы.

### **Нормированные виды СРС в дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация»**

- формирование и изучение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы;
- подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам, их оформление;
- выполнение домашних заданий в виде решения отдельных задач;

- компьютерный текущий самоконтроль и контроль успеваемости на базе электронных обучающих и аттестующих тестов;

### **Нормированные виды СРС (с участием преподавателей)**

Основными видами самостоятельной работы студентов с участием преподавателей для ее управления в учебном процессе являются:

- текущие консультации и контроль по формированию и освоению теоретического содержания дисциплин;
- прием и разбор домашних заданий;
- прием и защита лабораторных работ;
- консультирование и прием рефератов;
- консультирование по результатам текущего компьютерного контроля знаний;
- руководство, консультирование и защита курсовых работ (проектов);
- руководство, консультирование и защита УИРС;
- прием зачетов по дисциплинам;
- руководство и прием зачетов по различным практикам;
- руководство, консультирование и защита выпускных квалификационных работ.

### **Нормированные виды СРС в дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация»**

- текущие консультации и контроль по формированию и освоению теоретического содержания дисциплин;
- прием и разбор домашних заданий;
- прием и защита лабораторных работ;
- консультирование по результатам текущего компьютерного контроля знаний;
- прием зачета по дисциплине.

### **Форма планирования СРС по дисциплине**

Для организации и проведения СРС необходимо планирование этого вида обучения на кафедре.

Целью планирования СРС является оптимальное распределение по содержанию и трудоемкости для студентов и преподавателей всех видов СРС по дисциплине и обеспечение условий, необходимых для ритмичного и качественного освоения дисциплины. Для этого необходимо определить базовые разделы дисциплины для СРС, установить оптимальные виды СРС и их объемы, формы и сроки контроля, обеспечить необходимые материально-технические и учебно-методические ресурсы по проведению СРС.

Планирование СРС по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация»

Таблица 1

№ модуля образовательной программы	Наименование модулей дисциплины	Самостоятельная работа, зач.ед./часы						Формы контроля
		Освоение теоретического материала, подготовка к тестированию	Тестирование в ЦДО	Выполнение домашних заданий	Подготовка к контрольным работам	Подготовка к выполнению лабораторных работ	Всего часов или зачетных единиц	
3	Предмет метрологии. Системы физических величин и единиц. Погрешности измерений	16	4	6	4	4	34	– тестирование в ЦДО; – письменные домашние задания; – контрольные работы; – работа в классе.
4	Единство измерений. Средства измерений. Основы стандартизации и сертификации	14	6	5	4	4	33	– тестирование в ЦДО; – письменные домашние задания; – контрольные работы; – лабораторные работы; – работа в классе.
<b>ИТОГО:</b>							<b>67</b>	<b>зачет</b>

В таблице 1 приведены общие суммарные планируемые часы СРС, распределенные по видам СРС.

Для более подробного рассмотрения планирования СРС по дисциплине, допустим сокращения для таблицы:

- освоение теоретического материала – формирование и (электронные учебники, электронные библиотеки и др.);
- тестирование в ЦДО – компьютерный текущий самоконтроль и контроль успеваемости на базе электронных обучающих и аттестующих тестов в Центре дистанционного обучения СПбГУ ИТМО;
- письменные домашние задания – выполнение домашних заданий – решение отдельных задач;
- подготовка к контрольным работам – решение задач, изучение материалов для подготовки к рубежной аттестации;
- подготовка к выполнению лабораторных работ – изучение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая методические рекомендации по выполнению лабораторных работ.

## Управление СРС на практических занятиях по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация»

Практические занятия объемом 17 часов скомпонованы таким образом, что проводится одно занятие (2 академических часа), раз в две недели. Такой перерыв между этапами встреч с преподавателем обусловлен временем, отводимым на выполнение домашнего задания и изучения теоретического материала, которое студент проводит самостоятельно.

В каждом модуле на практике в общем случае предусматриваются практические занятия, домашние задания и контрольная работа по итогам изучения материала модуля. За модуль проводится 4 занятия под руководством преподавателя и на аттестационной неделе модуля дается возможность досдать неуспешные этапы.

В течение модуля студентами совместно с преподавателем должны быть изучены темы в соответствии с программой дисциплины в течение занятий, и часть материала может быть дана на самостоятельное изучение по выбору преподавателя. Стимулируется самостоятельность мышления студентов посредством работы у доски, сравнения результатов решения задач среди студентов группы.

После изучения темы на домашнюю проработку каждому студенту выдается индивидуальный комплект задач.

В данном пособии представлены и показаны способы решения типовых задач по всем подлежащим изучению темам. Самостоятельная работа студента выполняется и путем организации и стимулирования работы учащихся с учебно-методическим комплексом, изучения ими необходимого материала в данном пособии, в конспекте лекций, в методических рекомендациях по выполнению лабораторных работ и заданий для практических занятий, в описаниях виртуальных лабораторий.

## ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

### Теория воспроизведения единиц физических величин

**Задача 1.** Определить маховой и динамический моменты инерции для вращающейся массы 0,6 т при диаметре инерции 180 см.

*Решение:* Маховой момент равен  $mD^2$ , динамический момент инерции –  $I = mr^2$ . Переводим величины в единицы СИ:  $m=0,6$  т=600 кг,  $D=180$  см= 1,8 м. Тогда, маховой момент  $600 \cdot 1,8^2 = 1944$  кг·м<sup>2</sup>.

Динамический момент инерции  $I=600 \cdot 0,9^2=468$  кг·м<sup>2</sup>.

**Задача 2.** Определить мощность электродвигателя, если от насоса, подающего воду из скважины глубиной 3 км, требуется подача 45000 л воды в 1 ч. КПД насоса 74,5 %.

*Решение:* Гидравлическая мощность насоса  $P = \frac{Vp}{t}$ ; давление, развиваемое насосом,  $p = h \cdot \rho \cdot g$ . Переводим величины в единицы СИ:  $h=3$  км=3000 м;  $V=45000$  л=45 м<sup>3</sup>;  $t=1$  ч=3600 с;  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. Находим давление  $p = 3000 \cdot 1000 \cdot 9,8 = 29,4 \cdot 10^6$  Па.

Гидравлическая мощность насоса  $P = \frac{45 \cdot 29,4 \cdot 10^6}{3600} = 410 \cdot 10^3$  Вт=410 кВт.

Мощность электромотора  $P = 410 \cdot \frac{100}{74,5} = 550$  кВт.

**Задача 3.** Давление воздуха в заводской пневматической сети изменяется от 3 ат до 6 ат. Выразить давление в единицах системы Си.

*Решение:*  $P=3 \cdot 9,80665 \cdot 10^4=0,3$  МПа,  $P=6 \cdot 9,80665 \cdot 10^4=0,6$  МПа.

**Задача 4.** Удельное давление при объемной штамповке латуни составляет (120 – 200) кгс/мм<sup>2</sup>. Выразить удельное давление в единицах системы СИ.

*Решение:*  $p_1 = \frac{120 \cdot 9,80665}{10^{-6}} \text{ Н/м}^2 = 1,2$  ГПа,  $p_2 = \frac{200 \cdot 9,80665}{10^{-6}} \text{ Н/м}^2 = 2$  ГПа.

### Основные понятия теории погрешностей

**Задача 1.** Определите относительную погрешность измерения напряжения переменного тока вольтметром при положениях переключателя рода работы на постоянном и переменном токах, если прибор

показывает в первом случае 128 В, во втором 120 В при напряжении 127 В.

*Решение:* Относительная погрешность измерения выражается отношением абсолютной погрешности измерения  $\Delta x = x - x_D$  (отклонение результата измерения  $x$  от истинного (действительного) значения измеряемой величины  $x_D$ ) к действительному  $x_D$  или измеренному  $x$  значению:  $\delta = \frac{\Delta x}{x_D} \cdot 100\%$ .

$$\delta_1 = \frac{128 - 127}{127} \cdot 100\% \approx 0,8\%; \quad \delta_2 = \frac{|120 - 127|}{127} \cdot 100\% \approx 5,5\%.$$

*Ответ:*  $\delta_1 = 0,8\%$ ;  $\delta_2 = 5,5\%$ .

**Задача 2.** Показания часов в момент поверки 12 ч 03 мин. Действительное значение времени 12 ч 00 мин. Определить абсолютную и относительную погрешности часов.

*Решение:* Абсолютная погрешность часов:  $\Delta x = x - x_D = 3 \text{ мин} = 180 \text{ с}$ .

Относительная погрешность часов:

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_D} \cdot 100\% = \frac{180 \text{ с}}{43200 \text{ с}} \cdot 100\% \approx 0,4\%.$$

*Ответ:*  $\Delta x = 180 \text{ с}$ ;  $\delta \approx 0,4\%$ .

**Задача 3.** Определить приведенную погрешность амперметра, если его диапазон измерений от  $-5 \text{ А}$  до  $+5 \text{ А}$ , значение поверяемой отметки шкалы равно  $3 \text{ А}$ , а действительное значение измеряемой величины  $-2,98 \text{ А}$ .

*Решение:* Приведенная погрешность амперметра:

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_N} \cdot 100\% = \frac{3 \text{ А} - 2,98 \text{ А}}{10 \text{ А}} \cdot 100\% \approx 0,2\%.$$

*Ответ:*  $\gamma \approx 0,2\%$ .

**Задача 4.** Результат измерения давления  $1,0600 \text{ Па}$ , погрешность результата измерения  $\Delta = 0,001 \text{ Па}$ . Запишите результат измерения давления, пользуясь правилами округлений.

*Ответ:*  $(1,060 \pm 0,001) \text{ Па}$ .

**Задача 5.** Пользуясь правилами округлений до целых, запишите результаты следующих измерений:  $3478,4 \text{ м}$ ;  $4578,6 \text{ м}$ ;  $5674,54 \text{ м}$ ;  $1234,50 \text{ мм}$ ;  $43210,500 \text{ с}$ ;  $8765,50 \text{ кг}$ ;  $232,5 \text{ мм}$ ;  $450,5 \text{ с}$ ;  $877,5 \text{ кг}$ .

*Ответ:*  $3478 \text{ м}$ ;  $4579 \text{ м}$ ;  $5675 \text{ м}$ ;  $1234 \text{ мм}$ ;  $43210 \text{ с}$ ;  $8766 \text{ кг}$ ;  $232 \text{ мм}$ ;  $450 \text{ с}$ ;  $878 \text{ кг}$ .



## Систематические погрешности

**Задача 1.** Оцените систематическую погрешность измерения напряжения  $U_x$  источника, обусловленную наличием внутреннего сопротивления вольтметра (рис. 1).

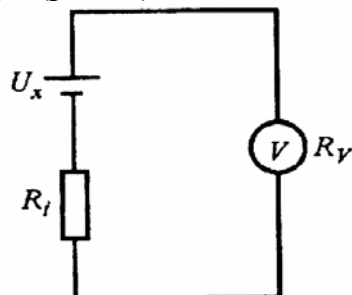


Рис. 1. Измерение напряжения источника вольтметром

Внутреннее сопротивление источника напряжения  $R_i = 50$  Ом; сопротивление вольтметра  $R_v = 5$  кОм; показания вольтметра  $U_{изм} = 12,2$  В.

*Решение:* Здесь  $U_{изм} = \frac{R_v}{R_v + R_i} U_x$  и относительная систематическая

погрешность, определяемая как  $\Theta = \frac{U_{изм} - U_x}{U_x} \cdot 100\% = -\frac{R_i}{R_i + R_v} \cdot 100\%$ ,

составит 0,99 %. Это достаточно ощутимая погрешность и ее следует учесть введением поправки. Поправка  $\nabla$  равна погрешности, взятой с обратным знаком в единицах измеряемой величины  $\nabla = 0,99 \cdot 10^{-2} \cdot 12,2 = +0,12$  В. Таким образом, напряжение источника будет  $12,2 + 0,12 = 12,32$  В.

Отметим, что полученная оценка систематической погрешности имеет некоторую погрешность из-за погрешностей в определении  $R_v$  и  $R_i$ , а также из-за наличия инструментальной погрешности вольтметра. Эта погрешность при введении поправки не исключается и называется *неисключенной систематической погрешностью*.

*Ответ:*  $\Theta = 0,12$  В.

## Случайные погрешности

**Задача 1.** Техническими условиями на изготовление некоторого типа резисторов было установлено, что величина сопротивления была  $100\text{Ом} \pm 5\text{Ом}$ . Для оценки партии резисторов из нее сделали случайную выборку объемом  $n = 50$  резисторов. Среднее значение величины сопротивления получено  $\bar{X} = 100$  Ом. Среднее квадратическое отклонение  $\sigma = \pm 5$  Ом. Сколько процентов сопротивлений в партии будет забраковано при сплошной проверке?

*Решение:* Найдем значение нормированной случайной величины  $t = \frac{x - m_x}{\sigma}$ , где  $m_x$  – математическое ожидание  $m_x = \bar{X}$ .

$$x_{\max} = 100 + 5 = 105 \text{ Ом} \Rightarrow t_{\max} = \frac{105 - 100}{5} = 1;$$

$$x_{\min} = 100 - 5 = 95 \text{ Ом} \Rightarrow t_{\min} = \frac{95 - 100}{5} = -1.$$

По таблице Лапласа получим  $\Phi(t_{\max}) = +0,3413$ ;  $\Phi(t_{\min}) = -0,3413$  т.к.  $\Phi(-t) = -\Phi(t)$ , таким образом, вероятность появления брака составит:  $1 - [\Phi(t_{\max}) - \Phi(t_{\min})] = 1 - 0,6826 = 0,3174$  или 31,74 %.

*Ответ:* 31,74 % сопротивлений будет забраковано в партии при сплошной проверке

**Задача 2.** Случайная величина  $x$  подчинена закону распределения, плотность которого задана графически на рис. 2.

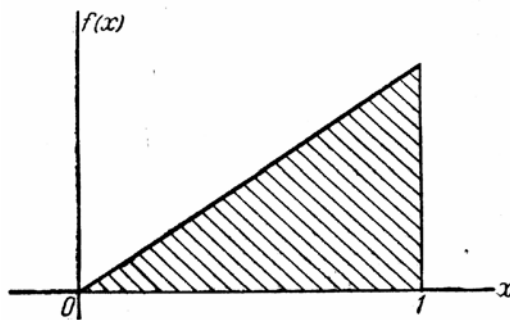


Рис. 2. Кривая плотности распределения вероятностей

Записать выражение для плотности распределения  $f(x)$ , найти математическое ожидание  $m_x$ , дисперсию  $D_x$ , среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  случайной величины  $x$ .

*Решение:* Выражение плотности распределения имеет вид:

$$f(x) = \begin{cases} ax & \text{при } 0 < x < 1, \\ 0 & \text{при } x < 0 \text{ или } x > 1. \end{cases}$$

Пользуясь свойством плотности распределения

$$\int_0^1 f(x) dx = 1; \quad \int_0^1 ax dx = a \frac{x^2}{2} \Big|_0^1 = \frac{a}{2} = 1, \text{ находим } a = 2.$$

$$\text{Математическое ожидание величины } x: m_x = \int_0^1 2x^2 dx = \frac{2x^3}{3} \Big|_0^1 = \frac{2}{3}.$$

Дисперсию найдем через второй центральный момент:

$$D_x = \int_0^1 \left(x - \frac{2}{3}\right)^2 \cdot 2x dx = 2 \int_0^1 \left(x^2 - \frac{4x}{3} + \frac{4}{9}\right) \cdot x dx = 2 \int_0^1 \left(x^3 - \frac{4}{3}x^2 + \frac{4}{9}x\right) dx =$$

$$= 2 \left( \frac{x^4}{4} \Big|_0^1 - \frac{4x^3}{3 \cdot 3} \Big|_0^1 + \frac{4x^2}{9 \cdot 2} \Big|_0^1 \right) = \frac{1}{18}, \text{ отсюда } \sigma_x = \sqrt{D_x} = \frac{1}{3\sqrt{2}}.$$

Ответ:  $m_x = \frac{2}{3}$ ;  $D_x = \frac{1}{18}$ ;  $\sigma_x = \frac{1}{3\sqrt{2}}$ .

**Задача 3.** При измерении среднего диаметра резьбового калибра были получены нормально распределенные результаты наблюдений, которые представлены в таблице 4.6. Определить, есть ли среди этих данных результаты, содержащие грубую погрешность при доверительной вероятности  $P=0,99$ .

*Решение:* Т.к.  $n = 20$  для определения наличия результата, содержащего грубую погрешность воспользуемся критерием «трех сигм». Найдем среднее арифметическое результатов наблюдений и точечную оценку

СКО:  $\bar{X} = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} x_i = 18,308 \text{ мм}$ ,  $S_x = \sqrt{\frac{1}{20-1} \sum_{i=1}^{20} (x_i - \bar{X})^2} = 0,0028 \text{ мм}$ .

Таблица 1. Результаты измерений и расчетов

$i$	$x_i, \text{ мм}$	$(x_i - \bar{X}), \text{ мм}$	$(x_i - \bar{X})^2 \cdot 10^{-6}$
1	18,305	-0,003	9
2	18,308	+0,000	0
3	18,311	+0,003	9
4	18,309	+0,001	1
5	18,304	-0,004	16
6	18,306	-0,002	4
7	18,310	+0,002	4
8	18,303	-0,005	25
9	18,308	+0,000	0
10	18,306	-0,002	4
11	18,312	+0,004	16
12	18,305	-0,003	9
13	18,307	-0,001	1
14	18,308	+0,000	0
15	18,309	+0,001	1
16	18,308	+0,000	0
17	18,307	-0,001	1
18	18,309	+0,001	1
19	18,310	+0,002	4
$\bar{X} = 18,308 \text{ мм}$			$S_x = 0,0028 \text{ мм}$

$3 S_x = 0,0085 > |x_{20} - \bar{X}| = 0,007$ . Следовательно, в наших измерениях нет результата, содержащего грубую погрешность.

## Средства измерений

**Задача 1.** Найти относительную погрешность вольтметра класса точности 1,0 с диапазоном измерений от 0 до 150 В, в точке шкалы 50 В.

*Ответ:* 3 %.

**Задача 2.** Имеются 3 вольтметра: класса точности 1,0 с номинальным напряжением 300 В, класса 1,5 на 250 В и класса 2,5 на 150 В. Определить, какой из вольтметров обеспечит большую точность измерения напряжения 130 В.

*Ответ:* первый.

**Задача 3.** Определите относительную погрешность измерения в начале шкалы (для 30 делений) для прибора класса 0,5, имеющего шкалу на 100 делений.

*Ответ:* 1,7%.

**Задача 4.** При измерении напряжения импульсным вольтметром В4-14, класса точности 2/0,2, с верхним диапазоном измерения 220 В, его показания были равны 100 В. Определите относительную погрешность вольтметра.

*Ответ:* 2,2 %.

**Задача 5.** По приведенной погрешности определить класс точности миллиамперметра, который необходим для измерения тока от 0,1 мА до 0,5 мА (относительная погрешность измерения не должна превышать 1%).

*Решение:*

$$\delta = \frac{\Delta \cdot 100\%}{x} \Rightarrow \Delta = \frac{\delta \cdot x}{100\%} = \frac{1\% \cdot 0,1 \text{ мА}}{100\%} = 0,001 \text{ мА}$$

(измеренное значение тока –  $x$ , берем в начале шкалы, так как в начале шкалы относительная погрешность измерения больше).

$$\gamma = \frac{\Delta \cdot 100\%}{x_N} = \frac{0,001 \text{ мА} \cdot 100\%}{0,5 \text{ мА}} = 0,2\%.$$

*Ответ:* класс точности миллиамперметра 0,2.

**Задача 6.** При поверке амперметра с пределом измерений 5 А в точках шкалы: 1; 2; 3; 4; и 5 А получены следующие показания образцового прибора: 0,95; 2,06; 3,05; 4,07; и 4,95 А. Определить абсолютные, относительные и приведенные погрешности в каждой точке шкалы и класс точности амперметра.

*Ответ:* класс точности амперметра 1,4.

## ПРИМЕРЫ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

### Контрольная работа №1

#### «Единицы системы СИ и размерность физических величин»

1. Расстояние от Приозерска до острова Валаам 51 км. За какое время преодолевает это расстояние прогулочный катер, развивающий скорость 15 узлов?
2. Давление воздуха в пневматической сети завода составляет 4 ат. Выразите давление в единицах системы СИ.
3. Единицей измерения электрической ёмкости является фарад. Запишите размерность электрической ёмкости.
4. Выразите значения физических величин, используя соответствующие приставки:  $330 \cdot 10^{-10} \Phi$ ,  $45,6 \cdot 10^{-6} A$ ,  $12,3 \cdot 10^7 Дж$

### Контрольная работа №2

#### «Расчет погрешностей»

1. Определите относительную погрешность в измерениях лазерным дальномером расстояния до Луны (384 395 км) с абсолютной погрешностью 0,5 м.
2. Пользуясь правилом округления, как следует записать результаты 148935 и 575,3455, если первая из заменяемых цифр является пятой по счету (слева направо)?
3. Основная приведенная погрешность амперметра, рассчитанного на ток 10 А, составляет  $\pm 2.5\%$ . Определите относительную погрешность для отметки шкалы 1 А.
4. Пользуясь методом сличения, определили, что показания образцового вольтметра 1 В, а поверяемого 0.95. Чему равна приведенная погрешность поверяемого вольтметра, если его диапазон измерений от 0 до 15 В.

### Контрольная работа №3

#### «Исключение грубой погрешности и определение границ доверительного интервала»

1. После проведения 5-ти кратных измерений напряжения были получены следующие результаты: 101 В; 103 В; 103 В; 107 В; 102 В. Оценить пригодность четвертого результата.

2. По результатам 11-ти наблюдений было определено среднее значение величины сопротивления 17,35 Ом, СКО среднего арифметического составило 0,017 Ом. Найдите доверительную границу погрешности результата измерений, если доверительная вероятность  $P=95\%$ .
3. Найти вероятность того, что случайная величина  $x$  с центром распределения  $m_x = 6,0$  и  $\sigma = 1,6$  не находится в пределах  $3,2 < x < 8$ . Ответ выразите в процентах.
4. Среднее квадратическое отклонение  $\sigma = 0,004$ . Определить вероятность того, что случайная погрешность выйдет за пределы доверительного интервала с границами  $\pm 0,01$ . Ответ выразить в процентах.

**Контрольная работа №4**  
**«Расчет вероятности безотказной работы»**

1. В технических условиях на амперметры и вольтметры типа Э8027 указано, что минимальное значение вероятности безотказной работы равно 0,96 за 2000 ч. Сколько приборов из 225 приборов данного типа после 2000 ч работы, как правило, будут нуждаться в ремонте?
2. По данным ремонтной мастерской в среднем 50 % отказов осциллографов обусловлено выходом из строя транзисторов, 15 % – конденсаторов, 12 % – резисторов, 5 % – электронно-лучевых трубок, а остальные отказы обусловлены другими причинами. Найти вероятность  $P(A)$  отказа осциллографа по другим причинам.
3. Определить интенсивность отказа прибора, состоящего из 45123 элементов, если известно, что за 1200 часов работы отказало 7 элементов.
4. Определить вероятность отказа за 1000 часов измерительного преобразователя, состоящего из двух резисторов с интенсивностью отказов  $\lambda_r = 5 \cdot 10^{-6}$  и конденсатора с интенсивностью отказов  $\lambda_k = 10^{-5}$ .

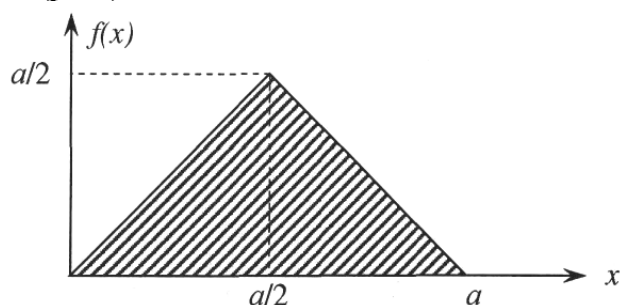
## ПРИМЕРЫ ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ

### Домашнее задание № 1 «Погрешности средств измерений»

1. Показания часов в момент поверки 9 ч 47 мин. Определите абсолютную и относительную погрешности часов, если действительное значение времени 9 ч 45 мин.
2. Определите абсолютную погрешность измерения постоянного тока амперметром, если он в цепи с образцовым сопротивлением 5 Ом показал ток 5 А, а при замене прибора образцовым амперметром для получения тех же показаний пришлось уменьшить напряжение на 1 В.
3. При поверке концевой меры длины номинальном размером 30 мм было получено значение 30.0005 мм. Определите абсолютную и относительную погрешности.
4. Определить приведенную погрешность вольтметра, если его диапазон измерений от  $-10\text{В}$  до  $+10\text{В}$ , значение поверяемой отметки шкалы равно 7В. Действительное значение измеряемой величины 6.97 В.

### Домашнее задание № 2 «Обработка результатов измерений»

1. Случайная величина  $x$  подчинена треугольному закону распределения (рис.).



- Записать выражение для плотности распределения  $f(x)$ , найти математическое ожидание  $m_x$ , дисперсию  $D_x$ , среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  случайной величины  $x$ .
2. При измерении длины получены следующие результаты: 54,9 мм; 55,6 мм; 54,0 мм; 55,2 мм; 55,5 мм; 54,8 мм; 55,1 мм; 55,3 мм. Определите границы доверительного интервала для среднего квадратического отклонения (СКО) результатов наблюдений.

3. Взвешивание слитка дало следующие результаты: 150,361 г; 150,357 г; 150,352 г; 150,346 г; 150,344 г; 150,340 г; 150,360 г; 150,355 г. Определите доверительный интервал для среднего значения при доверительной вероятности  $P = 0,97$ .
4. Для оценки партии линеек из нее сделали случайную выборку объемом  $n = 30$  линеек, при этом в результате измерений среднее значение их длины равно  $\bar{X} = 1000$  мм, а среднее квадратическое отклонение  $\sigma = \pm 3$  мм. Сколько процентов линеек в партии будет забраковано при сплошной проверке?

### Домашнее задание № 3

«Расчет надежности прибора  
и определение пригодности средств измерений»

1. Определить вероятность безотказной работы  $P(t)$  за 1000 часов для измерительного преобразователя, состоящего из элементов с интенсивностями отказов:  $\lambda_1 = 5 \cdot 10^{-5}$ ,  $\lambda_2 = 8 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_3 = 4,2 \cdot 10^{-5}$ ,  $\lambda_4 = 2 \cdot 10^{-7}$ ,  $\lambda_5 = 3,5 \cdot 10^{-6}$ .
2. Определить вероятность безотказной работы электроизмерительного преобразователя за 1000 часов работы, если он состоит из 3-х транзисторов, 5-ти керамических сопротивлений, 7-и обычных резисторов. Интенсивность отказа определить, исходя из условий: за 10000 часов отказывает 5 из 1000 транзисторов, 4 из 100 керамических сопротивлений и 1 из 10 резисторов.
3. Для измерения напряжения от 50 В до 140 В с относительной погрешностью, не превышающей 3%, был заказан вольтметр, имеющий класс точности 1,0 и верхний предел измерений 200 В. Удовлетворяет ли он поставленным условиям?
4. Определить пригодность вольтметра с диапазоном измерения от 0 до 200 В и классом точности 1,0. При непосредственном сличении его показаний с показаниями образцового вольтметра были получены следующие результаты:

Рабочий, В	50	100	150	180	200
Образцовый, В	49,8	101,5	152,9	183,2	199,9

Образцовый вольтметр имеет систематическую погрешность 0,6.



## ВАРИАНТЫ ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ

### Домашнее задание № 1 «Погрешности средств измерений»

#### Вариант № 1

**Задача 1.** Значение силы электрического тока, полученное при измерении, 2,65 А, погрешность  $\pm 0,006145$  А. Записать результат измерения, пользуясь правилами округления.

**Задача 2.** Основная приведенная погрешность амперметра, рассчитанного на ток 10 А, составляет 2,5%. Определите возможную абсолютную погрешность для первой отметки шкалы (1 А).

**Задача 3.** Измерения линейкой из тугоплавкого сплава будут проводиться при температуре, превышающей номинальную на 1000 К. Какой будет в этом случае температурная поправка?

**Задача 4.** Пользуясь методом сличения, определили, что показания образцового вольтметра 1 В, а поверяемого 0,95 В. Найдите абсолютную погрешность и поправку для поверяемого прибора.

#### Вариант № 2

**Задача 1.** Определите абсолютную погрешность атомных часов, использующих колебания молекул газа на частоте  $3 \cdot 10^{10}$  Гц, за год, если известна их относительная погрешность  $0,5 \cdot 10^{-10}$ .

**Задача 2.** Записать результат измерения следующих значений физических величин, пользуясь правилами округления: 6783,6 мм; 5499,74 с; 12,34501 кг. Погрешность  $\pm 0,0001$ .

**Задача 3.** Найти абсолютную, относительную и приведенную погрешности вольтметра класса точности 1,0 с диапазоном измерений от 0 до 80 В, в точке шкалы 20 В.

**Задача 4.** Определить, что измерено точнее пальпаторным методом: пульс покоя за 1 мин ( $p_1 = 72$  уд.) или за 10 с ( $p_2 = 11$  уд.), если абсолютная погрешность измерения  $\Delta p = \pm 1$  уд.

### Вариант № 3

**Задача 1.** Напишите округленные до целых следующие результаты измерений: 1234,50 мм; 8765,50 кг; 43210,500 с.

**Задача 2.** Определить погрешность при измерении тока амперметром класса точности 1,5, если номинальный ток амперметра равен 20 А, а показание амперметра 10 А.

**Задача 3.** При поверке гири с номинальным значением 2 кг было получено значение 1,999 кг. Определить абсолютную и относительную погрешности измерений.

**Задача 4.** Определите абсолютную погрешность измерения напряжения в сети постоянного тока вольтметром, если он в сети с образцовым сопротивлением  $R = 7$  Ом показал напряжение 140 В, а при замене прибора образцовым вольтметром для получения тех же показаний пришлось уменьшить напряжение на 1 В.

### Вариант № 4

**Задача 1.** Вольтметр класса точности 0,5 имеет диапазон измерений от 0 до 100 В. Определить допускаемую абсолютную и относительную погрешности, если стрелка вольтметра остановилась на делении шкалы против цифры 30 В.

**Задача 2.** Двумя амперметрами на 20 А был измерен ток на выходе трансформатора. Первый имеет погрешность 1% от верхнего предела и показал 4 А, а второй имеет погрешность 2% от верхнего предела и показал 3,98 А. Найти относительную погрешность второго амперметра.

**Задача 3.** Пользуясь правилом округления, как следует записать результаты 148935 и 575,3455, если первая из заменяемых цифр является пятой по счету (слева направо)?

**Задача 4.** 1 аршин равен  $\frac{2}{3}$  м с погрешностью 6,7%. В обиходе пользуются еще соотношением 1 м = 1,5 аршина. Зная, что 1 аршин = 0,7112 м, определите погрешность последнего допущения.

**Домашнее задание № 2**  
«Обработка результатов измерений»

**Вариант № 1**

**Задача 1.** Вычислить математическое ожидание, дисперсию, среднеквадратическое отклонение случайной величины  $x$ , а также среднее значение величины для постоянного распределения  $\varphi(x) = \frac{1}{b-a}$ .

**Задача 2.** Закон распределения скоростей молекул газа задаётся формулой Максвелла  $\varphi(v) = 4\sqrt{\frac{k^3}{\pi}}v^2e^{-kv^2}$ . Вычислить дисперсию для данного распределения.

**Задача 3.** Проводили измерения длины  $L$  металлического бруска. Было сделано 10 измерений и получены следующие значения: 10 мм, 11 мм, 12 мм, 13 мм, 10 мм, 10 мм, 11 мм, 10 мм, 10 мм, 11 мм. Требуется найти среднее значение  $\bar{L}$  измеряемой величины (длины бруска) и его погрешность  $\Delta\bar{L}$ .

**Задача 4.** Для некоторого случайного процесса график зависимости плотности вероятности от значения переменной  $x$  выглядит следующим образом:

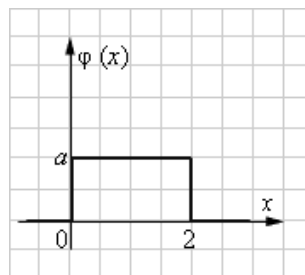


Рис. 1.

Найти величину  $a$ .

**Вариант № 2**

**Задача 1.** Вычислить математическое ожидание, дисперсию, среднеквадратическое отклонение случайной величины  $x$  и записать итог измерений, используя следующие данные:

X	0	1	2	3
P	0,1	0,3	0,5	0,1

**Задача 2.** По результатам 11-ти наблюдений длины было получено среднее арифметическое значение. Определить доверительный интервал, в котором находится истинное значение длины, если СКО результатов наблюдений  $S = 3,74$  мм, доверительная вероятность  $P = 0,9\%$ .

**Задача 3.** Массив экспериментальных данных, полученных с помощью цифрового измерительного прибора, представлен в таблице. Каждое  $x_i$ -е число повторяется  $m_i$  раз. Постройте гистограмму, дающую представление о плотности распределения результатов наблюдений.

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$x_i$	90,1	90,11	90,12	90,13	90,14	90,15	90,16	90,17	90,18	90,19	90,2
$m_i$	1	2	5	10	20	24	19	11	5	2	1

**Задача 4.** Для оценки партии гирь из нее сделали случайную выборку объемом  $n = 30$  гирь, при этом в результате измерений среднее значение их массы равнялось  $\bar{X} = 2000$  г, а среднее квадратическое отклонение  $\sigma = \pm 4$  г. Сколько процентов гирь в партии будет забраковано при сплошной проверке?

### Вариант № 3

**Задача 1.** Определить границы доверительного интервала, если задана соответствующая ему доверительная вероятность  $P = 0,997$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma = 0,003$ .

**Задача 2.** Массив экспериментальных данных, полученных с помощью аналогового измерительного прибора, представлен в таблице. При  $n$ -кратном независимом друг от друга повторении измерительной процедуры указатель отсчетного устройства  $m_i$  раз останавливался в каждом из делений шкалы, приведенных в таблице. Постройте гистограмму, дающую представление о плотности распределения результатов наблюдений.

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_i$	0,10.. 0,11	0,11.. 0,12	0,12.. 0,13	0,13.. 0,14	0,14.. 0,15	0,15.. 0,16	0,16.. 0,17	0,17.. 0,18	0,18.. 0,19	0,19.. 0,20
$m_i$	1	2	6	11	19	23	20	10	5	3

**Задача 3.** Для определения площади квадрата измеряют две его стороны с помощью одного мерительного инструмента и результаты измерений перемножают. С какой относительной погрешностью  $\delta = \sigma / M$  нужно

измерять стороны квадрата, чтобы среднее квадратическое отклонение определения площади было не более 1%?

**Задача 4.** Определите, чему будет равна плотность распределения  $y = f(x)$  при случайной погрешности  $\Delta = 0$ .

#### Вариант № 4

**Задача 1.** При измерении напряжения в сети получены следующие результаты: 102,1 В; 102,5 В; 101,6 В; 102,3 В; 101,8 В. Определить, есть ли среди них результат, содержащий грубую погрешность, если заданная вероятность 0,975?

**Задача 2.** По 10-ти наблюдениям была найдена длина стержня. Результаты вычисления следующие:  $\bar{X} = 15,785$  мм,  $S_{\bar{X}} = 0,005$  мм. Найти границы доверительного интервала, если уровень значимости в процентах  $q = 1\%$ .

**Задача 3.** В серии из 10 опытов измерялся ионизационный потенциал водорода. Результаты измерения приведены в таблице. Постройте гистограмму, дающую представление о плотности распределения результатов наблюдений.

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_i$	13,1	13,7	13,9	13,4	13,6	13,5	13,2	13,3	13,8	14,0
$m_i$	1	24	2	12	21	28	2	5	5	1

**Задача 4.** Найти вероятность того, что случайная величина  $x$  с центром распределения  $m_x = 4,2$  и  $\sigma = 2,7$  находится в пределах  $2,88 < x < 8,03$ . Ответ выразить в процентах.

**Домашнее задание № 3**  
«Расчет надежности прибора  
и определение пригодности средств измерений»

**Вариант № 1**

**Задача 1.** При измерении напряжения были получены следующие результаты: 196 В, 198 В, 199 В, 200 В, 201 В, 202 В, 205 В. Определить пригодность последнего результата при заданной вероятности 0,95%.

**Задача 2.** Определить вероятность внезапного отказа электроизмерительного преобразователя за 1000 ч работы, если известно, что он состоит из 4 транзисторов, 6 керамических сопротивлений и 8 резисторов. Интенсивность отказов определить исходя из условий, что за 10000 ч испытаний отказал 1 из 1000 транзисторов, 3 из 100 керамических сопротивлений и 1 из 10 резисторов.

**Задача 3.** Для измерения тока от 30 А до 90 А с относительной погрешностью, не превышающей 3%, был заказан амперметр с верхним пределом измерения 120 А и классом точности 1,5. Удовлетворяет ли он поставленным условиям?

**Задача 4.** Определить пригодность к дальнейшему применению рабочего вольтметра класса точности 1,5 с диапазоном измерений от 0 до 150 В, если при непосредственном сличении его показаний с показаниями образцового вольтметра были получены следующие данные:

Рабочий, В	25	50	75	100	125	150
Образцовый, В	24,5	49,5	74,5	99,7	122,9	148,5

В случае брака, укажите точку из-за которой принято данное решение.

**Вариант № 2**

**Задача 1.** Оцените годность пружинного манометра класса точности 1,0 на 60 кПа, если при его поверке методом сличения с образцовым манометром класса точности 0,2 в точке 50 кПа при повышении давления было зафиксировано 49,5 кПа, а при понижении 50,2 кПа.

**Задача 2.** Определить вероятность безотказной работы за 1000 часов преобразователя, состоящего из 2 резисторов с интенсивностью отказов  $\lambda_p = 10^{-6}$  и конденсатора с интенсивностью отказов  $\lambda_k = 10^{-4}$ .

**Задача 3.** Для измерения напряжения от 30 В до 120 В с относительной погрешностью, не превышающей 2%, был заказан вольтметр с верхним пределом измерения 150 В и классом точности 1,0. Удовлетворяет ли он поставленным условиям?

**Задача 4.** Определить пригодность амперметра с диапазоном измерений от 0 до 140 А и классом точности 1,0. При непосредственном сличении его показаний с показаниями образцового амперметра были получены следующие результаты:

Рабочий, А	20	40	60	80	100	120	140
Образцовый, А	19,8	41,5	58,2	81,2	99,7	117,8	138,6

В случае брака, укажите точку из-за которой принято данное решение.

### Вариант № 3

**Задача 1.** Электроизмерительный преобразователь состоит из 4 транзисторов с интенсивностью отказов  $\lambda_T = 10^{-7}$ , 4 резисторов с  $\lambda_p = 2 \cdot 10^{-5}$  и 9 керамических сопротивлений с  $\lambda_c = 2 \cdot 10^{-6}$ . Определить вероятность внезапного отказа этого средства измерений за 1000 ч работы.

**Задача 2.** При поверке амперметра класса точности 1,5 с пределом измерений 120 А были получены следующие результаты:

Рабочий, А	20	40	60	80	100	120
Образцовый, А	18,9	40,7	61,6	78,2	101,1	119,3

Оцените годность прибора. В случае брака, укажите точку из-за которой принято данное решение.

**Задача 3.** Для измерения напряжения от 40 В до 120 В с относительной погрешностью, не превышающей 4%, был заказан вольтметр с верхним пределом измерения 140 В и классом точности 1,0. Удовлетворяет ли он поставленным условиям?

**Задача 4.** Определить вероятность безотказной работы электроизмерительного преобразователя, состоящего из 5 резисторов с интенсивностью отказов  $\lambda_p = 2 \cdot 10^{-6}$  и конденсатора с интенсивностью отказов  $\lambda_k = 10^{-4}$  за 1000 ч работы.

## Вариант № 4

**Задача 1.** Определить вероятность внезапного отказа измерительного преобразователя за 1000 ч работы, если он состоит из 5 резисторов с интенсивностью отказов  $\lambda_p = 10^{-6}$  и 2 конденсаторов с  $\lambda_k = 0,25 \cdot 10^{-4}$ .

**Задача 2.** Определить пригодность вольтметра класса точности 1,0 с диапазоном измерений от 0 до 200 В, если при непосредственном сличении его показаний с показаниями образцового вольтметра были получены следующие данные:

Рабочий, В	25	50	75	100	150	175	200
Образцовый, В	24,9	51,5	77,9	101,5	149,9	174,5	199,9

Образцовый вольтметр имеет систематическую погрешность 0,5 В.

**Задача 3.** Для измерения тока от 20 А до 60 А с относительной погрешностью, не превышающей 2%, был заказан амперметр с верхним пределом измерения 100 А и классом точности 0,5. Удовлетворяет ли он поставленным условиям?

**Задача 4.** Электроизмерительный преобразователь состоит из 2 транзисторов с интенсивностью отказов  $\lambda_T = 2 \cdot 10^{-7}$ , 3 керамических сопротивлений с  $\lambda_c = 6 \cdot 10^{-6}$  и 8 резисторов с  $\lambda_p = 10^{-5}$ . Определить вероятность безотказной работы этого средства измерений за 1000 ч работы.



# МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

## Лабораторная работа №1 «Сложные шкалы измерительных приборов»

*Цель:* научиться определять цену деления шкал измерительных приборов и определять измеренные показания на приборах со сложными шкалами на примере мегомметра Е6-16.

*Задачи:*

- 1.определение цены деления мегомметра, исходя из настроек прибора;
- 2.определение отсчета по шкале мегомметра.

Для выполнения лабораторной работы воспользуемся переносным малогабаритным стрелочным мегомметром Е6-16 с диапазоном измеряемых сопротивлений от 2 Ом до 200 МОм и лабораторным реостатом.

Учитывая, что прибор первоначально откалиброван на “ноль”, следует определить цену деления мегомметра и занести её в интерактивную таблицу, находящуюся справа от лабораторной установки. Определение цены деления позволит нам в дальнейшем правильно рассчитать показания сопротивлений прибора. Чтобы верно рассчитать цену деления, следует обратить внимание на показания переключателя мегомметра, таким образом, понятно, что измерения будут проводиться по шкале “А” с коэффициентом  $\times 10^2$  (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид мегомметра

Номенклатуру шкалы и коэффициент сопротивления учитывается в дальнейших расчётах. В поле определения цены деления вводим полученный коэффициент сопротивления в формате целого числа. Так, при правильном определении, он будет ровняться ста.

Мегомметр подключён к лабораторному реостату, который имеет 6 активных положений, регулируемых стрелками (рис. 2). В первом положении сопротивление равно нулю. Таким образом, необходимо измерить сопротивление прибора в оставшихся пяти положениях и занести показания в интерактивную таблицу.

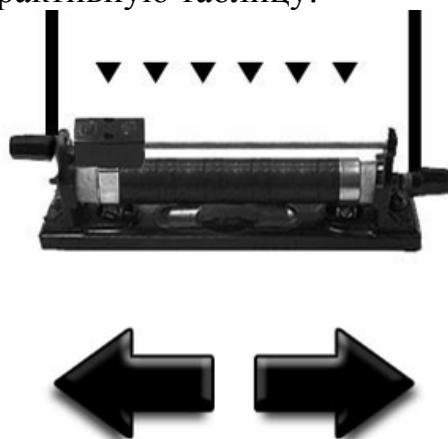


Рис. 2. Реостат с активными стрелками

При увеличении электрического сопротивления с помощью реостата, показания прибора меняются соответственно. Таким образом, получаем фиксированные значения сопротивлений на шкале мегомметра, в зависимости от положения движка реостата. Именно эти измерения и заносятся в таблицу в формате целых чисел. Т.е. допустим в положении реостата в первой позиции, мы получим значение  $2,5 \times 10^2$  Ом, что получается равно 250 Ом.

После расчёта всех измерений и занесении их в интерактивную таблицу (рис. 3), проверяем результаты нажатием на кнопку “проверить” (рис. 3).

Определите цену деления:

Введите результаты измерений:

Измерение 1:

Измерение 2:

Измерение 3:

Измерение 4:

Измерение 5:

Рис. 3. Интерактивная таблица

После чего получаем подтверждение во всплывающем окне, верны ли результаты или нет.

*Контрольные вопросы:*

1. Что обозначает термин «измерение»?
2. Каким видом метрологии является данная лабораторная работа?
3. Что понимается под метрологической характеристикой?
4. Что такое система единиц физических величин?
5. Что такое метрологическая надежность средства измерений?

## Лабораторная работа №2

### «Компарирование рулетки с помощью эталонного метра»

*Цель:* научиться компарировать рулетку с помощью образцового средства измерения.

*Задачи:*

- 1.определить отклонение «по метру» измерительной рулетки с помощью эталонного метра
- 2.вычислить накопленную погрешность.

Для определения погрешности рулетки с помощью эталонного метра, необходимо сопоставить измерения длин друг с другом и тем самым определить отклонение измеряемой величины на каждом метре. В качестве примера измеряемого объекта была взята рулетка общей длиной 5 метров. Таким образом, с помощью регулировочных стрелок движения измерительного метра (рис. 4), имеем возможность перематывать рулетку в обе стороны. Масштабы эталонного метра и рулетки составляют 1:10 от размера реального метра.

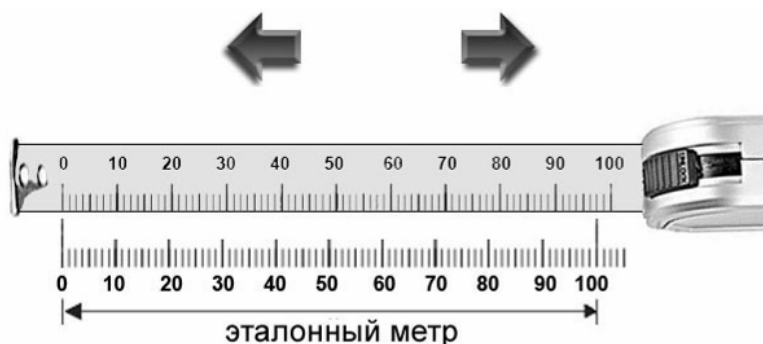


Рис. 4. Рабочее окно лабораторной работы

Результаты отклонений записываются в сантиметрах по модулю в виде целых чисел. Получив 5 результатов, следует рассчитать накопленную погрешность по формуле и записать итоговый результат в соответствующую форму.

Все измерения и результат расчета накопленной погрешности заносится в интерактивную таблицу (рис. 5).

Введите отклонения (мм) :

$\Delta_1$ :	<input type="text"/>
$\Delta_2$ :	<input type="text"/>
$\Delta_3$ :	<input type="text"/>
$\Delta_4$ :	<input type="text"/>
$\Delta_5$ :	<input type="text"/>
:	
Определите накопленную погрешность:	<input type="text"/>

Рис. 5. Интерактивная таблица

Для проверки результатов нажимаем кнопку “проверить” (рис. 6).

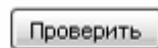


Рис. 6. Кнопка “проверить”

После чего получаем подтверждение во всплывающем окне, верны ли результаты или нет.

*Контрольные вопросы:*

1. Назовите составляющие науки метрологии.
2. Дайте определение средства измерения.
3. Что такое компарирование?
4. Дайте определение эталона?
5. От чего зависит величина межповерочного интервала?

## Лабораторная работа №3 «Определение показаний измерительных приборов»

*Цель:* научиться определять показания измерительных приборов с различными шкалами.

*Задачи:*

- 1.определить показания измерений штангенциркуля;
- 2.определить показания измерений микрометра;
- 3.штрихового и шкалового микроскопов теодолита.

В диалоговом окне работы (рис. 7) видим четыре примера шкал различных измерительных приборов. На каждом измерительном приборе выставлена случайная величина, которую следует определить, и правильно записать в интерактивную таблицу.

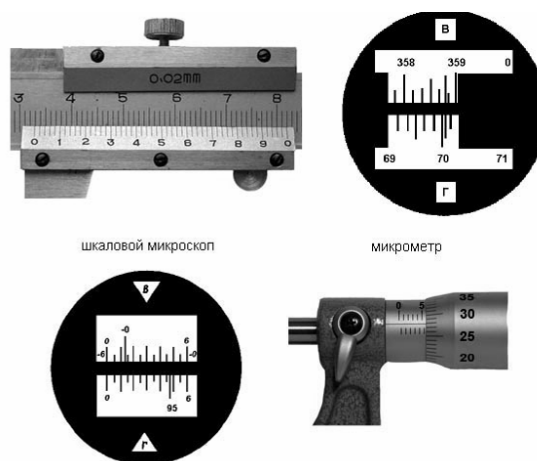


Рис. 7. Внешний вид окна работы

Штангенциркуль способен измерять наружные и внутренние размеры деталей. Кроме того, с помощью штангенциркуля можно измерить глубину отверстия. Штангенциркуль состоит из неподвижной части – измерительная линейка с губкой – и подвижной части – подвижная рамка. Для определения измерения следует сопоставить ноль на подвижной рамке и число на измерительной линейке.

Измерения с помощью микрометра производятся аналогично штангенциркулю, сопоставляются значения измерений винта и гайки, в результате чего получается искомая величина в мм.

Шкаловой и штриховой микроскопы являются основной частью отсчетной оптической системы теодолитов, которые предназначены для измерения горизонтальных и вертикальных углов.

В штриховом микроскопе в середине поля зрения виден штрих, относительно которого осуществляется отсчет по лимбу. Перед

отсчетом по лимбу необходимо определить цену деления лимба. Цена деления лимба составляет 10 угловых минут, т.е. градус разделен на шесть частей. Число минут оценивается «на глаз». Точность отсчета составляет 1'.

В шкаловом микроскопе в поле зрения видна шкала, размер которой соответствует цене деления лимба. Для теодолита технической точности размер шкалы и цена деления лимба равны 60'. Шкала разделена на двенадцать частей, и цена ее деления составляет 5 угловых минут. Если перед числом градусов знака минус нет, отсчет производится по шкале, где перед цифрами от 0 до 6 знака минус нет, в направлении слева направо. Десятые доли минуты берутся «на глаз» с точностью до 30".

После определения отсчетов и занесения их в интерактивную таблицу подсчетов (рис. 8), проверяем результаты нажатием на кнопку «проверить».

штангельциркуль (мм):	<input type="text"/>
штриховой микроскоп вертикальный угол (°):	<input type="text"/>
горизонтальный угол (°):	<input type="text"/>
шкаловой микроскоп вертикальный угол (°):	<input type="text"/>
горизонтальный угол (°):	<input type="text"/>
микрометр (мм):	<input type="text"/>

Рис. 8. Интерактивная таблица

После чего получаем подтверждение во всплывающем окне, верны ли результаты или нет.

*Контрольные вопросы:*

1. Дайте определение шкалы средства измерения.
2. Назовите виды шкал.
3. Каким образом определяется цена деления шкалы?
4. Как определить класс точности прибора?
5. Какая система единиц принята в РФ?

## Лабораторная работа №4 «Расчет различных видов погрешностей»

*Цель:* научиться рассчитывать абсолютную, относительную и приведённую погрешности.

*Задачи:*

- 1.откалибровать измерительные приборы;
- 2.получить результаты измерений;
- 3.рассчитать абсолютную, относительную и приведённую погрешности.

В данной лабораторной работе представлены три измерительных прибора: вольтметр, амперметр и мегомметр. Перед проведением измерений приборы необходимо откалибровать («выставить ноль»). Для этого, используя активные стрелки под прибором (рис. 9), выставляем нулевой отсчет. Между стрелками расположена кнопка «измерить».



Рис. 9. Виртуальный вольтметр с кнопками управления

После получения значений измерений для трёх измерительных приборов, рассчитываем абсолютную, относительную и приведённую погрешности по формулам, указанным в интерактивной таблице (рис. 10). Расчет производится для каждого прибора и вводится в форму в виде десятичного значения через запятую.



	Вольтметр	Амперметр	Мегомметр
Абсолютная погрешность $\Delta X =  X_{\text{изм}} - X_{\text{ном}} $	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Относительная погрешность $\delta_x = \frac{\Delta x}{X}$	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Приведённая погрешность $\delta_x = \frac{\Delta x}{X_n}$	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Рис. 10. Интерактивная таблица

После расчёта погрешностей и занесения их в интерактивную таблицу, проверяем результаты нажатием на кнопку “проверить”.



Рис. 11. Кнопка “проверить”

После чего получаем подтверждение во всплывающем окне, верны ли результаты или нет.

*Контрольные вопросы:*

1. Дайте определение погрешности средства измерения.
2. Назовите виды погрешностей.
3. В чем различие поверки и калибровки?
4. Дайте определение термину «инструментальная погрешность»?
5. Каким образом можно свести влияние систематической погрешности к минимуму?

## Лабораторная работа №5 «Расчёт среднеквадратического отклонения»

*Цель:* научиться рассчитывать погрешность измерений по формуле среднеквадратического отклонения (СКО).

*Задачи:*

1. определить отклонение концевой меры от номинального значения (5 мм) с помощью микрометра;
2. вычислить среднеквадратичное отклонение.

В данной работе используется электронный микрометр, а также концевая мера номиналом 5 мм.

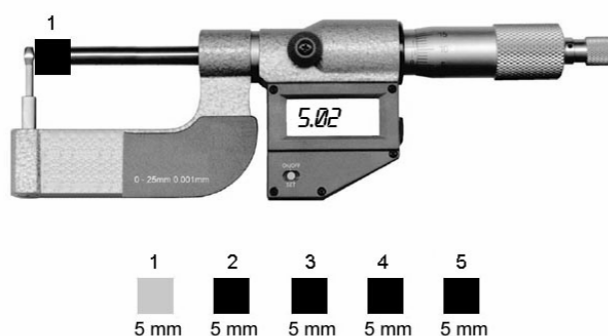


Рис. 12. Внешний вид диалогового окна

Для определения отклонения номинала концевой меры необходимо, поочерёдно нажимая на них (в работе 10 позиций), определить полученные отклонения на дисплее микрометра. Измерения нужно занести в интерактивную таблицу в виде значений отклонений по модулю. Например, для первой позиции это значение будет равняться 0,2 мм; а для второго: 0,1 мм.

После измерений отклонений нужно воспользоваться формулой для расчета среднеквадратического отклонения (S), которая приведена в интерактивной таблице (рис. 13).

После определения всех отклонений и расчета среднеквадратического отклонения, занесённых в таблицу, проверяем результаты нажатием на кнопку “проверить” (рис. 13).

Введите отклонения измеряемых величин :

Δ 1:	<input type="text"/>
Δ 2:	<input type="text"/>
Δ 3:	<input type="text"/>
Δ 4:	<input type="text"/>
Δ 5:	<input type="text"/>
Δ 6:	<input type="text"/>
Δ 7:	<input type="text"/>
Δ 8:	<input type="text"/>
Δ 9:	<input type="text"/>
Δ 10:	<input type="text"/>

$$S' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \Delta^2}{n - 1}}$$

S:

Рис. 13. Интерактивная таблица

После чего получаем подтверждение во всплывающем окне, верны результаты или нет.

*Контрольные вопросы:*

1. Какая погрешность обусловлена особенностями оператора?
2. Что называют методом измерения?
3. Какие существуют методы измерения?
4. Какой метод измерения использован в данной работе?
5. Чем отличается первичная поверка от периодической?

## ПРИМЕРЫ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ

### Пример аттестационного теста №1

«Предмет метрологии. Системы физических величин и единиц. Погрешности измерений»

Укажите однозначную меру.

1. измерительная (масштабная) линейка
2. угломерный лимб
3. вариометр индуктивный
4. угловая плитка с одним рабочим углом
5. рулетка

Назовите производную единицу, эквивалентную  $1 \text{ кг}/(\text{м}\cdot\text{с}^2)$ :

1. Ватт
2. Джоуль
3. Паскаль
4. Ньютон

Какая из перечисленных единиц не является производной?

1. джоуль
2. кандела
3. кулон
4. люмен
5. паскаль

Поглощенная доза ионизирующего излучения  $W$  определяется как энергия ионизирующего излучения  $E$ , поглощенная 1 кг массы  $m$  объекта. Укажите правильную размерность эквивалентной дозы излучения.

1.  $L^2 T^2$
2.  $L^2 T^{-2}$
3.  $L^2 M T^{-2}$
4.  $L^2 M$

Переведите температуру  $22^\circ\text{C}$  в шкалу Фаренгейта.

1. 54 F
2. 10 F
3. 71,6 F
4. -251 F

Как называется погрешность средства измерения, применяемого в нормальных условиях:

1. нормальная
2. базовая
3. основная
4. статическая

Как называется вид контроля, результаты которого вызывают изменение параметров технологического процесса и влияют на качество выпускаемой продукции.

1. Активный контроль
2. Непосредственный контроль

3. Комплексный контроль
4. Контроль качества

Показания часов в момент поверки 9ч 47 мин. Определите абсолютную и относительную погрешности часов, если действительное значение времени 9ч 45 мин.

1. 120 с
2. 240 с
3. 0,34 %
4. 0,35 %
5. 0,42 %

Какой метод обнаружения систематической погрешности позволяет определить закон распределения результатов измерений:

1. критерий Аббе
2. критерий Вилкоксона
3. дисперсионный анализ (критерий Фишера)
4. метод введения поправок

Для измерения напряжения от 50 В до 140 В с относительной погрешностью, не превышающей 3%, был заказан вольтметр, имеющий класс точности 1,0 и верхний предел измерений 200 В. Удовлетворяет ли он поставленным условиям?

1. да, т.к. относительная погрешность 1 %
2. да, т.к. относительная погрешность 1,8%
3. нет, т.к. относительная погрешность 2,5%
4. нет, т.к. относительная погрешность 4%

В качестве приближенного значения искомой величины применяют:

1. среднее арифметическое
2. среднее геометрическое
3. среднеквадратическое

Определить границы доверительного интервала, если задана соответствующая ему доверительная вероятность  $P = 0,99$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma = 0,015$ . Справочные данные

Функция Лапласа

$\Phi(t)$	0.95	0.97	0.99	0.993	0.995	0.997	0.999	0.9995	0.9999
$t$	1.960	2.170	2.576	2.697	2.807	2.968	3.291	3.481	3.891

1.  $\pm 0.03$
2.  $\pm 0.039$
3.  $\pm 0.049$
4. 0.015
5. 70.05

Произведены четыре независимых измерения некоторой физической величины. Вероятность того, что при одном измерении погрешность превысит заданную точность, равна 0,5. Определите вероятность того, что только в одном из измерений погрешность превысит заданную точность.

1. 0.028
2. 0.096
3. 0.384
4. 0.432
5. 0.65

Каким образом проводят оценку грубых погрешностей с помощью критерия Романовского?

1. анализируют распределение результатов измерений
2. рассчитывают значение СКО
3. сравнивают математическое ожидание с табличным значением
4. сравнивают рассчитанное значение с табличным значением

Правильные ответы:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	3	2	1	3	3	1	1; 3	2	4	1	2	2	3	4

## Пример аттестационного теста №2

«Единство измерений. Средства измерений. Основы стандартизации и сертификации»

Как называется лаборатория или центр, которые проводят испытания или отдельные виды испытаний определенной продукции?

1. метрологическая служба
2. испытательная лаборатория
3. отдел сертификации
4. метрологический центр
5. центр стандартизации

Может ли государственный эталон быть первичным и в то же время вторичным?

1. Эталон, являясь первичным государственным эталоном, одновременно может быть вторичным по отношению к международному эталону.
2. Эталон, являясь первичным государственным эталоном, одновременно не может быть вторичным по отношению к международному эталону.
3. Государственный эталон может быть только первичным, официально утвержденным в качестве исходного для страны.

Что такое средство измерений?

1. техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и/или хранящее единицу ФВ, размер которой принимают неизменным в течение известного интервала времени
2. средства, с помощью которых можно непосредственно отсчитывать значения измеряемых величин и используемые для выполнения экспериментальной части измерений
3. техническое средство, служащее для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью
4. технические средства, осуществляющие сравнение измеряемой величины с эталоном

Определить интенсивность отказа прибора, состоящего из 431234 элементов, если известно, что за 1000 часов работы отказало 14 элементов.

1.  $1,2 \cdot 10^{-8}$
2.  $4,2 \cdot 10^{-8}$
3.  $2,0 \cdot 10^{-8}$
4.  $3,2 \cdot 10^{-8}$
5.  $1,8 \cdot 10^{-8}$

Чувствительность амперметра  $S = 5$  дел/А, предел измерений 50А. Чему равна цена деления?

1. 0.25
2. 0.2
3. 0.5
4. 2.5
5. 0.4

Показания вольтметра с диапазоном измерений от 0 В до 200 В равны 170 В. Образцовый вольтметр, включенный параллельно, показывает 173 В. Определите относительную погрешность рабочего вольтметра.

1. 0.87%
2. 1.73%
3. 1.76%
4. 1.5%

Определить пригодность амперметра с диапазоном измерения от 0 А до 100 А и классом точности 1,0. При непосредственном сличении его показаний с показаниями образцового амперметра были получены следующие результаты:

Рабочий, А	20	40	60	80	100
Образцовый, А	21.2	38.7	61.1	78.8	98.3

Образцовый вольтметр имеет систематическую погрешность 0,7 А.

В случае брака укажите точку, из-за которой принято данное решение.

1. пригоден
2. нет, точка 20А
3. нет, точка 40А
4. нет, точка 60А
5. нет, точка 80А
6. нет, точка 100А

Как называется деятельность, заключающаяся в определении конкретных объектов, которые признаются нецелесообразными для использования в дальнейшем в производстве?

1. агрегатирование
2. квалиметрия
3. рандомизация
4. симплификация
5. унификация

К первому уровню фонда законов Государственной системы стандартизации относятся:

1. техническое законодательство РФ
2. государственные стандарты и общероссийские классификаторы технико-экономической информации
3. стандарты отрасли и стандарты научно-технических обществ
4. стандарты предприятий и технические условия

Обозначение стандартов научно-технических, инженерных обществ и общественных объединений состоит из:

1. индекса ОСТ
2. индекса СТО и аббревиатуры общества
3. года утверждения стандарта
4. двух последних цифр года утверждения стандарта
5. регистрационного номера
6. условного обозначения ведомства или министерств

Назовите международную организацию, в рамках которой правительствами и частным сектором координируются глобальные сети и услуги электросвязи:

1. ВТО
2. ИСО
3. МСЭ
4. МЭК

Какие права предоставлены государственному инспектору?

1. арестовывать производителя продукции
2. закрывать предприятие
3. запрещать или приостанавливать поставку (реализацию) продукции
4. налагать штрафы
5. направлять необходимые материалы в суд или органы прокуратуры

Укажите цели сертификации:

1. внесение поправок в закон «О сертификации»
2. защита потребителя от недобросовестности изготовителя или продавца
3. инспекционный контроль за деятельностью аккредитованных органов по сертификации, испытательных лабораторий, сертифицированной продукцией и состоянием ее производства
4. контроль за соблюдением стандартов серии ИСО
5. подтверждение показателей качества продукции, заявленных изготовителем
6. проведение добровольной и обязательной сертификации
7. содействие потребителем в компетентном выборе продукции

Заявителем на проведение добровольной сертификации может быть:

1. изготовитель
2. инспектор
3. орган по сертификации
4. потребитель

Органом по обязательной сертификации могут быть:

1. только некоммерческие организации
2. любое юридическое лицо, зарегистрировавшее систему сертификации и знак соответствия в Госстандарте РФ
3. зарегистрированные организации любых форм собственности
4. научно-методические центры
5. научно-исследовательские организации

Правильные ответы:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	1	1	3	2	2	3	4	1	2; 3; 4	3	3; 4; 5	2; 5; 7	1; 4	1



## **ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

### **Предмет метрологии. Воспроизведение единиц физических величин. Погрешности измерений**

#### **Предмет метрологии. Воспроизведение единиц физических величин**

1. Приведите структуру теоретической метрологии.
2. Измерительные шкалы. Способы получения измерительной информации.
3. Неметрические шкалы. Шкала наименований (шкала классификации). Шкала порядка (шкала рангов).
4. Метрические шкалы. Шкала интервалов (шкала разностей). Шкала отношений. Абсолютные шкалы.
5. Производные единицы системы СИ, имеющие специальное название. Четыре вида внесистемных единиц.

#### **Основные понятия теории погрешностей**

1. Неопределенность результата измерения.
2. Погрешности метода измерений.
3. Устранение переменных систематических погрешностей.
4. Устранение монотонно изменяющихся систематических погрешностей.
5. Специальные статистические методы устранения систематических погрешностей.

#### **Случайные погрешности.**

##### **Числовые параметры законов распределения случайных погрешностей**

1. Вид дифференциальной функции распределения при различных значениях коэффициента асимметрии.
2. Характеристики плосковершинности или островершинности распределения.
3. Значения коэффициента асимметрии, эксцесса и контрэксцесса для нормального закона распределения случайной величины.
4. Состоятельные, несмещенные и эффективные оценки результатов измерений.
5. Центр симметрии распределения случайной погрешности.

**Интервальные оценки случайных погрешностей.  
Методы исключения грубых погрешностей.  
Обработка результатов измерений**

1. Расчет доверительных интервалов при малом числе наблюдений. Распределение Стьюдента.
2. Недостатки оценивания случайной погрешности с помощью доверительных интервалов.
3. Методы исключения грубых погрешностей. Критерий Романовского.
4. Методы исключения грубых погрешностей. Вариационный критерий Диксона.
5. Идентификация формы распределения результатов измерений. Критерий согласия Пирсона.

**Единство измерений. Средства измерений. Основы стандартизации и сертификации**

**Единство измерений.  
Основы техники измерений**

1. Состав и метрологические характеристики эталонов основных единиц системы СИ.
2. Примеры построения эталонов основных единиц системы СИ.
3. Метод отклонений, разностный метод и нулевой метод измерений.
4. Метод чередования и метод подстановки.
5. Компенсационный и мостовой методы измерений.

**Средства измерений**

1. Обобщенная структурная схема средства измерения.
2. Классификация средств измерений по их роли в процессе измерения и выполняемым функциям.
3. Основные правила выбора и нормирования средств измерений.
4. Номенклатура метрологических характеристик средств измерений.
5. Динамические погрешности средств измерений. Динамический диапазон измерений.

## **Основы стандартизации**

1. Уровни национальной стандартизации.
2. Разновидности нормативных документов: предварительный стандарт, документ технических условий, свод правил, регламент.
3. Международная электротехническая комиссия – МЭК (IEC).
4. Международный союз электросвязи – МСЭ (ITU).
5. Основная форма государственного контроля и надзора – выборочная проверка.

## **Основы сертификации**

1. Виды работ по сертификации, выполняемые органами по добровольной и по обязательной сертификации.
2. Цели аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий.
3. Принципы аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий, выполняющих работы по подтверждению соответствия.
4. Структура квалиметрии.
5. Экспертный метод оценки качества продукции.

## **ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ**

Отчет по домашнему заданию должен содержать нижеприведенные материалы и удовлетворять следующим условиям:

1. титульный лист (с обязательным указанием названия работы, Ф.И.О. студента, номера группы, названия кафедры и факультета, Ф.И.О. преподавателя, проверяющего задание);
2. данные (условия задачи);
  1. ход решения задачи с подробным выводом и описанием всех основных соотношений, обоснованием выбора табличных данных;
  2. расчеты должны быть с обязательным указанием единиц измерения;
  3. приведена размерность конечного результата;
  4. отчет по домашнему заданию выполняется аккуратно, формулы записываются четко;
  5. выбранный масштаб должен позволить рассмотреть детали рисунков (если есть) и обозначить (отобразить) все необходимые элементы.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

*Значения  $\upsilon_p$  при различных числах измерения  $n$*

$n$	$q = 1 - P$				$n$	$q = 1 - P$			
	0,10	0,05	0,025	0,01		0,10	0,05	0,025	0,01
3	1,406	1,412	1,414	1,414	14	2,297	2,461	2,602	2,759
4	1,645	1,689	1,710	1,723	15	2,326	2,493	2,638	2,808
5	1,731	1,869	1,917	1,955	16	2,354	2,523	2,670	2,837
6	1,894	1,996	2,067	2,130	17	2,380	2,551	2,701	2,871
7	1,974	2,093	2,182	2,265	18	2,404	2,557	2,728	2,903
8	2,041	2,172	2,273	2,374	19	2,426	2,600	2,754	2,932
9	2,097	2,237	2,349	2,464	20	2,447	2,623	2,778	2,959
10	2,146	2,294	2,414	2,540	21	2,467	2,644	2,801	2,984
11	2,190	2,383	2,470	2,606	22	2,486	2,664	2,823	3,008
12	2,229	2,387	2,519	2,663	23	2,504	2,683	2,843	3,030
13	2,264	2,426	2,562	2,714	24	2,520	2,701	2,862	3,051
					25	2,537	2,717	2,880	3,071

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анцыферов С.С., Голубь Б.И. Общая теория измерений: Учебное пособие / Под редакцией акад. РАН Н.Н. Евстихиева – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 176 с.
2. Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии: Учеб. Пособие. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 312 с.
3. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация, сертификация. 2-е изд. – Спб.:Питер, 2003. – 432 с.
4. Иванов В.А., Марусина М.Я., Ткалич В.Л. Прикладная метрология: Учебное пособие. – СПб.: СПбГИТМО(ТУ), 2003. – 104 с.
5. Ким К.К. Метрология, стандартизация, сертификация. – С-Пб.: Питер, 2006. – 367с.
6. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии. – М.: Издательство Юнити-Дана, 1999. – 711 с.
7. Марусина М.Я. Инвариантный анализ и синтез в моделях с симметриями. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2004. – 144 с.
8. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. М.: Энергоатомиздат, 1985. – 245 с.
9. Рабинович С.Г. Погрешности измерений. Л.: Энергия, 1978. – 196 с.
- 10.Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология. Карманная энциклопедия студента: Учебное пособие для студентов высших и средних специальных учебных заведений. – М.: Логос, 2001. – 376 с.
- 11.Тартаковский Д.Ф., Ястребов А.С. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 2001. – 205 с.
- 12.Шабалин С.А. Прикладная метрология в вопросах и ответах. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 192 с.
- 13.Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Ч.1. Общая теория измерений: учеб.-мет. комплекс (учеб. пособие), 3-е изд., перераб. и доп., / И.Ф. Шишкин. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2008. – 189 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Организация самостоятельной работы .....	5
Примеры решения типовых задач .....	9
Примеры контрольных работ.....	15
Примеры домашних заданий .....	17
Варианты домашних заданий.....	19
Методические рекомендации по выполнению виртуальных лабораторных работ.....	27
Примеры тестовых заданий.....	38
Вопросы и задания для самостоятельной работы.....	43
Требования к оформлению отчета домашнего задания.....	46
Приложения .....	47
Список литературы .....	48