

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела

**МЕТРОЛОГИЯ. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ,
СТАНДАРТИЗАЦИИ, СЕРТИФИКАЦИИ
И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА**

Методические указания

*к проведению лабораторных работ
для студентов направлений подготовки 08.03.01 «Строительство»,
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»
всех форм обучения*

Воронеж 2021

УДК 006(07)
ББК 30.10я7

Составитель Г. Н. Мартыненко

МЕТРОЛОГИЯ. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ, СТАНДАРТИЗАЦИИ, СЕРТИФИКАЦИИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА: методические указания к проведению лабораторных работ / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: Г. Н. Мартыненко. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 24 с.

Содержат сведения о порядке проведения лабораторных работ по дисциплинам «Основы метрологии, стандартизации, сертификации и контроля качества», «Метрология»; направлению 08.03.01 «Строительство», профиль «Теплогасоснабжение и вентиляция» и 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», профиль «Проектирование и строительство энергетических сетей»; разъясняют цели и задачи лабораторных работ.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 «Строительство», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» всех форм обучения.

**УДК 006(07)
ББК 30.10я7**

Рецензент – В. И. Лукьяненко, канд. техн. наук, доцент кафедры теоретической и промышленной теплоэнергетики ВГТУ

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

ВВЕДЕНИЕ

Решение метрологических задач является составной частью учебного процесса, важнейшим элементом в подготовке высококвалифицированных специалистов. В представленных методических указаниях приведены сведения о порядке проведения лабораторных работ по дисциплинам «Основы метрологии, стандартизации, сертификации и контроля качества», «Метрология»; направлениям 08.03.01 «Строительство», профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция» и 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», профиль «Проектирование и строительство энергетических сетей».

В данных методических указаниях дано разъяснение целей и задач при выполнении лабораторных работ. Содержат весь методический материал, необходимый для оформления лабораторных работ, что важно для развития индивидуальных и профессиональных навыков студентов.

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ТЕХНИКА РАБОТЫ С ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ ПРИБОРАМИ

1.1. Цель работы

Приобретение навыков и умения обращения с измерительными приборами: определение вида и назначения прибора, его метрологических характеристик (диапазон измерения, класс точности, допускаемая погрешность), приведение прибора во взаимодействие с объектом измерения, определение цены деления шкалы или единицы младшего разряда цифрового индикатора прибора, отсчитывание результата измерения и оценка его погрешности на примере приборов для измерения линейных, механических, электрических и тепловых величин.

1.2. Краткие теоретические сведения о работе

Все изучаемые в данной работе измерительные приборы предназначены для проведения прямых измерений методом непосредственной оценки. Всего задействовано шесть приборов: два для измерения линейной величины (длины) – штангенциркуль и микрометр, два для измерения электрических величин (напряжения и ёмкости) – вольтметр и измеритель емкости (мост переменного тока), один для измерения теплотехнической величины (температуры) – электрический измеритель температуры, один для измерения механической величины (массы) – весы настольные. По принципу действия и форме выдачи результата измерений (показаний) указанные приборы делятся на две группы: аналоговые (непрерывного действия) – это штангенциркуль, микрометр, вольтметр,

весы и цифровые (дискретного действия) – это измеритель ёмкости и измеритель температуры.

Основные погрешности измерительных приборов чаще всего устанавливают двумя способами: нормируют или предел систематической составляющей и предел среднего квадратического отклонения случайной составляющей, или предел погрешности, не разделяемой на составляющие; последнее имеет место, когда случайная составляющая погрешности конкретного типа измерительного прибора пренебрежимо мала, а это характерно для большинства современных массовых приборов. Отсюда следует, что пользователь должен однозначно установить, по какому способу нормирована основная допускаемая погрешность у его прибора.

Кроме того, основная погрешность у конкретного типа измерительного прибора может выражаться в одной из трёх форм: абсолютной, относительной и приведённой.

Абсолютная погрешность Δ определяется выражением

$$\Delta = Q - Q_d, \quad (1.1)$$

где Q и Q_d – измеренное и действительное значения измеряемой величины. Абсолютная погрешность выражается в тех же единицах, что и измеряемая величина.

Относительная погрешность δ – это отношение абсолютной погрешности к действительному или измеренному значению величины, выраженное обычно в процентах, т.е.

$$\delta = (\Delta Q_d)100. \quad (1.2)$$

Приведённая погрешность γ – это отношение абсолютной погрешности к нормирующему значению Q_N измеряемой величины, выраженное также в процентах, т.е.

$$\gamma = (\Delta Q_N)100. \quad (1.3)$$

В качестве нормирующего значения принимают чаще всего или конечное значение, или диапазон показаний.

Все эти три погрешности, кроме того, могут быть или постоянными, или переменными в пределах диапазона измерений. В первом случае нормируемые допускаемые погрешности выражаются одним числом, а во втором – в виде некоторой функции значения измеряемой величины. Так например, относительная погрешность для многих типов приборов указывается в виде формулы

$$\delta = \pm [c + d(Q_r Q - 1)], \quad (1.4)$$

где s – постоянная составляющая погрешности;
 d – коэффициент, определяющий изменяющуюся составляющую погрешности;
 Q и Q_k - текущее и конечное показания прибора.

У измерительных приборов линейных и угловых величин, массы, времени погрешности обычно нормируются в форме абсолютных, а у приборов для измерения электрических, теплотехнических, физико-химических, оптических величин в форме относительных и приведённых погрешностей. Однако в любом случае погрешность, заданная или определённая в одной форме, может быть переведена в любую другую с помощью указанных выше формул

1.3. Оборудование

1. Штангенциркуль ШЦ-II, диапазон измерений 0 – 250 мм, цена деления 0,05 мм, допускаемая абсолютная погрешность $\pm 0,08$ мм в интервале длин от 1 до 50 мм, $\pm 0,09$ мм в интервале длин от 50 до 80 мм и $\pm 0,1$ мм в интервале длин свыше 80 мм.

2. Микрометр МК, модель 102, диапазон измерений 0 – 25 мм, цена деления 0,01 мм, допускаемая абсолютная погрешность $\pm 0,004$ мм.

3. Милливольтметр ВЗ-38, верхние пределы измерений: 1; 3; 10; 30; 100; 300 мВ; 1; 3; 10; 30; 100; 300 В, класс точности при пределах измерений 1 – 300 мВ 2,5, при пределах 1 – 300 В 4,0.

4. Измеритель температуры портативный микропроцессорный ИПТМ-2П-ТХА/ТС, диапазон измерений минус 50 – плюс 1300 °С, предел допускаемой основной абсолютной погрешности $\pm 1,0$ °С.

5. Преобразователь термоэлектрический ТХА 9713-00, диапазон измерений минус 40 – плюс 450°С, предел допускаемой основной абсолютной погрешности $\pm 1,0$ °С.

6. Весы настольные РН-6ЦВУ, пределы взвешивания от 40 г до 6 кг, класс точности средний.

7. Генератор сигналов ГЗ-33, диапазон частот от 20 Гц до 200 кГц, верхние пределы выдаваемых напряжений от 100 мВ до 60 В.

8. Образцы для линейных измерений: брусок из дерева, пластмассовый цилиндр, металлический шар.

9. Набор из 9-ти конденсаторов ёмкостью: 20 – 50 пФ; 100 – 150 пФ; 800 – 1500 пФ; 5 – 15 нФ; 80 – 150 нФ; 200 – 500 нФ; 1500 – 2000 нФ; 8 – 15 мкФ; 80 – 150 мкФ.

10. Соединительный кабель к мосту переменного тока.

11. Соединительный кабель к милливольтметру.

12. Многоэлектродный композиционный электрообогреватель МКЭ-2-А-220, напряжение питания 220 В, частота 50 Гц, мощность 30 Вт.

13. Термоизолирующая подкладка для электрообогревателя.

14. Образцы для взвешивания: брусок из дерева, металлический цилиндр, герметичная ёмкость с водой, кирпич.

Данные сводятся в табл.1.1.

Таблица 1.1

Результаты измерений

Наимен. и тип прибора	Измеряемая величина	Диапазон измерения	Цена дел. шкалы или ед. мл. разр.	Класс точн. или допуск. погрешн.	Эксп. образцы	Результат измерения	Погрешн. измерения		
							абс.	отн., %	
Штангенциркуль ШЦ -II	длина	0-250 мм	0,05	±0,08 мм от 1 до 50 мм ±0,09 мм от 50 до 80 мм ±0,1 мм свыше 80 мм	брусок из дерева	28,3 222,2 75,4	0,08 0,1 0,09	0,28 0,05 0,12	
					цилиндр	250,4 33,1	0,1 0,08	0,04 0,24	
					шар	55,3	0,09	0,16	
Микрометр МК-102	длина	0-25мм	0,01	±0,004	Цилиндр	19,86	0,004	0,002	
					шар	19,99		0,002	
Весы Настольные РН-6ЦВУ	масса	40 г-6 кг	10 г	средний	Металл.	4,4	±10 г	0,22	
					Цилиндр	1,39			0,7
					Ёмкость с водой	2,45			0,4
					кирпич	0,38			0,02
Измеритель температуры ИПТМ-2П-ТХА/ТС Преобразователь термоэлектрический ТХА 9713-00	Температура	-50-+1300	0,1	1	Электрообогреватель	53 25,4 27,5	2	3,8 7,8 7,2	
					МКЭ-2-А-220	24 26,3			8,3 7,6
		-40-+450	1						
Милливольтметр ВЗ-38	Напряжение	1мВ-300 В	2 В	1-300 мВ 2,5 1-300 В 4	10-100 В	50			
					30 В	16			
					300 мВ	150			
					100 мВ	48			

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

КОСВЕННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЁРДЫХ ТЕЛ

2.1. Цель работы

На примере измерения плотности материала твёрдых тел ознакомиться с методикой и содержанием косвенных измерений, в том числе с определением результата измерения и оценкой его погрешности.

2.2. Краткие теоретические сведения к работе

Косвенное измерение – определение искомой физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной. Применительно к измерению плотности твёрдого тела оно заключается в прямых измерениях массы тела и его геометрических размеров и вычислении отношения массы к объёму по формуле

$$\rho = m/V. \quad (2.1)$$

В данной работе проводится косвенное измерение плотности материала (вещества) твёрдых тел трёх разных форм: деревянной прямоугольной призмы, прямого кругового цилиндра из текстолита и стального шара. Плотность материала каждого из названных тел определяется по следующим формулам:

$$\text{для призмы} \quad \rho = m/(lbh), \quad (2.2)$$

$$\text{для цилиндра} \quad \rho = 4m/(\pi d^2 l), \quad (2.3)$$

$$\text{для шара} \quad \rho = 6m/(\pi d^3), \quad (2.4)$$

где ρ – плотность материала, кг/м³;

m – масса соответствующего тела, кг;

l, b, h – длина, ширина и высота призмы, м;

d, l – диаметр цилиндра и шара и длина цилиндра, м.

При допущении, что все три тела имеют правильную форму, не содержат пустот, а материал однороден, погрешность косвенного измерения плотности будет складываться из погрешностей прямых измерений массы тел и их размеров. На основе метода линеаризации погрешность измерения искомой величины (плотности) связана с погрешностями измерения величин, измеряемых прямыми измерениями, следующими зависимостями:

а) абсолютная предельная (максимально возможная) по формуле

$$\Delta\rho_{\max} = \sum_1^m \frac{\partial\rho}{\partial Q_i} \Delta Q_i = \sum_1^m b_i \Delta Q_i = \sum_1^m \Delta\rho_{\max,i}, \quad (2.5)$$

где $\Delta\rho_{\max}$ – абсолютная предельная погрешность измерения плотности, кг/м³;

$\frac{\partial\rho}{\partial Q_i}$ – частная производная плотности по i -той величине прямых измерений;

Q_i – измеренное значение i -той величины прямых измерений, кг или м;

ΔQ_i – абсолютная предельная погрешность измерения i -той величины прямых измерений, кг или м;

m – число величин прямых измерений;

b_i – коэффициент влияния абсолютной погрешности измерения i -той величины на абсолютную погрешность измерения плотности;

$\Delta\rho_{\max, i}$ – частная абсолютная погрешность измерения плотности, вносимая абсолютной погрешностью измерения i -той величины прямых измерений;

б) относительная предельная по формуле

$$\delta\rho_{\max} = \frac{\Delta\rho_{\max}}{\rho} 100 = \sum_1^m \frac{\partial\rho}{\partial Q_i} \frac{\Delta Q_i}{\rho} 100 = \sum_1^m \frac{\partial\rho}{\partial Q_i} \frac{Q_i}{\rho} \frac{\Delta Q_i}{Q_i} 100 = \sum_1^m B_i \delta Q_i = \sum_1^m \delta\rho_{\max, i} \quad (2.6)$$

где $\delta\rho_{\max}$ – относительная предельная погрешность измерения плотности, %;

ρ – измеренное значение плотности, кг/м³;

$B_i = \frac{\partial\rho}{\partial Q_i} \frac{Q_i}{\rho}$ – коэффициент влияния относительной погрешности измерения

i -той величины на относительную погрешность измерения плотности;

$\delta Q_i = \frac{\Delta Q_i}{Q_i} 100$ – относительная предельная погрешность измерения i -той

величины прямых измерений, %;

$\delta\rho_{\max, i} = B_i \delta Q_i$ – частная относительная погрешность, вносимая относительной погрешностью измерения i -той величины, %;

в) абсолютная наиболее вероятная по формуле

$$\Delta\rho = \sqrt{\sum_1^m \left(\frac{\partial\rho}{\partial Q_i} \Delta Q_i\right)^2} = \sqrt{\sum_1^m (b_i \Delta Q_i)^2} = \sqrt{\sum_1^m \Delta\rho_{\max, i}^2}; \quad (2.7)$$

г) относительная наиболее вероятная по формуле

$$\delta\rho = \sqrt{\sum_1^m \left(\frac{\partial\rho}{\partial Q_i} \frac{\Delta Q_i}{\rho} 100\right)^2} = \sqrt{\sum_1^m (B_i \delta Q_i)^2} = \sqrt{\sum_1^m \delta\rho_{\max, i}^2}. \quad (2.8)$$

Важным условием при проведении косвенных измерений является обеспечение равноточности прямых измерений, т.е. примерного равенства частных

погрешностей, определяемых погрешностями измерения величин, подвергаемых прямым измерениям, в составе погрешности измерения искомой величины (плотности). При отсутствии указанной равноточности погрешность измерения искомой величины, особенно наиболее вероятная, будет почти целиком определяться наибольшей погрешностью измерения какой-то одной из измеряемых прямо величин, в то время как меньшие погрешности измерения других величин окажутся пренебрежимо малыми, и усилия, потраченные на обеспечение этих малых погрешностей, окажутся напрасными и нерациональными.

2.3. Оборудование

1. Весы настольные РН-6Ц13У, пределы взвешивания от 40 г до 6 кг, цена деления шкалы 10 г, класс точности средний (абсолютная допускаемая погрешность ± 10 г).

2. Штангенциркуль ШЦ-II, пределы измерения 0 – 250 мм, цена деления показывающего устройства 0,05 мм, абсолютная допускаемая погрешность $\pm 0,08$ мм в интервале длин от 1 до 50 мм, $\pm 0,09$ мм в интервале длин от 50 мм до 80 мм и $\pm 0,1$ мм в интервале длин свыше 80 мм.

3. Образцы твёрдых тел: прямая прямоугольная призма из дерева (сосна), прямой круговой цилиндр из эбонита, стальной шар.

2.4. Программа и порядок проведения экспериментальных работ

1. Измерить геометрические размеры образцов с помощью штангенциркуля, причём измерения производить по средним сечениям образцов. Полученные результаты измерений внести в табл. 2.1.

2. Измерить массу образцов путём взвешивания их на весах, отсчёт показаний производить с дискретностью до половины цены деления шкалы. Перед взвешиванием проверить, находятся ли весы в горизонтальном положении и равны ли их показания нулю при отсутствии груза на грузоприёмной площадке; в случае несоблюдения этих требований регулировкой опор и вращением ручки регулятора нуля привести весы в надлежащее состояние. Полученные результаты измерений занести в табл. 2.1.

3. Рекомендуются результаты измерений геометрических размеров и результаты расчётов объёма и плотности записывать числами с множителем 10 в соответствующей степени.

Результаты измерений

Материал и форма образца	Геометрические размеры образца, м		Объём образца $V, \text{ м}^3$	Масса образца $m, \text{ кг}$	Плотность материала $\rho, \text{ кг/м}^3$
Дерево, призма	Длина l				
	Ширина b				
	Высота h				
Эбонит, цилиндр	Диаметр d				
	Длина l				
Сталь, шар	Диаметр d				

2.5. Обработка результатов эксперимента

1. Рассчитать объём каждого образца и плотность материала в соответствии с формулами (2.1) – (2.4); значения объёмов и плотностей округлить до четырёх значащих цифр и внести в табл. 2.1.

2. В качестве абсолютных погрешностей прямых измерений геометрических размеров и массы образцов принять абсолютные допускаемые погрешности применённых средств измерений в соответствии с разделом 3. Определить относительные погрешности всех измеренных прямо величин; те и другие погрешности внести в табл. 2.2.

3. На основании формул (2.5) – (2.8) составить формулы для расчёта всех видов погрешностей, в том числе частных, косвенного измерения плотности для всех материалов (образцов), при этом в формулы (2.6) и (2.8) подставлять не полученные значения плотностей, а выражение для плотности соответствующего образца по формулам (2.2) – (2.4).

4. По полученным формулам рассчитать соответствующие погрешности измерений плотности каждого материала (образца) и внести их в табл. 2.2 с округлением до трёх-четырёх значащих цифр.

5. Рассчитанные значения погрешностей измерения плотности и ранее рассчитанные значения плотности округлить в соответствии с метрологическими правилами и внести их дополнительно соответственно в табл. 2.2, причём значения плотности записать с указанием пределов наиболее вероятной абсолютной погрешности по типу $\rho \pm \Delta\rho$.

Расчет пределов абсолютной погрешности

Материал и форма образца	Измеряемая величина	Погрешность прямых измерений		Частная (предельная) погрешность		Погрешность измерения плотности			
		абсолютная, м, кг	относительная, %	абсолютная,	относительная, %	абсолютная, кг/м ³		относительная, %	
						предельная	наиб. вероятн.	предельная	наиб. вероятн.
Дерево, призма	длина l								
	ширина b								
	высота h								
	масса m								
Эбонит, цилиндр	диаметр d								
	длина l								
	масса m								
Сталь, шар	диаметр d								
	масса m								

6. Полученные результаты измерения плотности исследованных материалов сравнить с данными справочников и сделать вывод о достоверности проведенных косвенных измерений.

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ПРОВЕДЕНИЕ МНОГОКРАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

3.1. Цель работы

Освоить методику проведения многократных измерений, погрешность которых содержит существенную случайную составляющую, в том числе обработку результатов измерений на примере измерения ёмкости измерительного конденсатора при косвенном измерении диэлектрической проницаемости твёрдых тел.

3.2. Краткие теоретические сведения

Многократные измерения – это повторные измерения одной и той же неизменной величины одним и тем же средством измерений в одних и тех же условиях. Необходимость в многократных измерениях возникает в тех случаях, когда известно заранее или можно предположить, что погрешность результата

измерений содержит существенную случайную составляющую (далее, случайную погрешность).

Среднее арифметическое значение результатов отдельных измерений, определяемое по формуле

$$\bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (3.1)$$

где \bar{Q} – среднее арифметическое значение;

Q_i – результат отдельного, i – го измерения;

n – число отдельных измерений.

Случайная абсолютная погрешность $\overset{\circ}{\Delta}_i$,

$$\overset{\circ}{\Delta}_i = Q_i - \bar{Q}. \quad (3.2)$$

Средняя квадратическая погрешность S , вычисляемая по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}}. \quad (3.3)$$

Средняя квадратическая погрешность среднего значения $S_{\bar{Q}}$, вычисляемой по формуле

$$S_{\bar{Q}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n(n-1)}}. \quad (3.4)$$

За итоговую оценку случайной погрешности отдельного измерения или среднего арифметического значения принимается доверительный интервал, границы которого $\overset{\circ}{\Delta}$ и $\overset{\circ}{\Delta}_{\bar{Q}}$ вычисляются по формулам

$$\overset{\circ}{\Delta} = \pm t_p S \quad \text{или} \quad \overset{\circ}{\Delta}_{\bar{Q}} = \pm t_p S_{\bar{Q}}, \quad (3.5)$$

где t_p – коэффициент Стьюдента.

Результаты значений

P _д	n					
	5	10	15	20	30	∞
0,8	1,53	1,38	1,35	1,33	1,3	1,28
0,9	2,13	1,83	1,76	1,73	1,7	1,64
0,95	2,77	2,26	2,14	2,09	2,04	1,96
0,99	4,6	3,25	2,98	2,86	2,75	2,58

Принято доверительную вероятность принимать равной 0,9 – для неответственных измерений, 0,95 – для рядовых массовых измерений, 0,99 – для ответственных измерений (табл. 3.1).

Емкость C_x конденсатора:

$$C_x = \varepsilon \varepsilon_o \frac{S_{эф}}{h}, \quad (3.6)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость материала образца;

ε_o – электрическая постоянная;

$S_{эф} = \frac{\pi(d_1 + d_2)^2}{16}$ – эффективная площадь электродов;

d_1 и d_2 – диаметр низкопотенциального электрода и внутренний диаметр охранного электрода;

h – расстояние между электродами, равное толщине образца.

Уравнение связи для определения искомой величины при косвенном измерении (диэлектрической проницаемости) имеет вид

$$\varepsilon = \frac{16hC_x}{\varepsilon_o \pi (d_1 - d_2)^2}. \quad (3.7)$$

Из последнего уравнения следует, что косвенное измерение относительной диэлектрической проницаемости материала образца требует прямого измерения четырёх величин: основной ёмкости C_x трёхэлектродного конденсатора с помещённым в него образцом, толщины образца h , диаметра низкопотенциального d_1 и внутреннего диаметра охранного d_2 электродов.

Результаты измерений геометрических размеров конденсатора, выполняемые с помощью штангенциркуля и микрометра, случайной погрешности не со-

держат, а вот результат измерения ёмкости в силу названных выше причин содержит. Поэтому в данной работе возникает необходимость многократного измерения только ёмкости с последующим вычислением случайных погрешностей (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Экспериментальные данные

N п/п	Полная выборка			1-я частичная выборка			2-я частичная выборка		
	C_{xi} , пФ	Δ_i^o , пФ	Δ_i^2	C_{xi} , пФ	Δ_i^o , пФ	Δ_i^2	C_{xi} , пФ	Δ_i^o , пФ	Δ_i^2
1	8,308	-0,021	$4,47 \cdot 10^{-4}$	8,308	-0,038	$1,436 \cdot 10^{-3}$			
2	8,355	0,026	$6,68 \cdot 10^{-4}$				8,355	0,043	$1,815 \cdot 10^{-3}$
3	8,365	0,036	$1,285 \cdot 10^{-3}$	8,365	0,019	$3,65 \cdot 10^{-4}$			
4	8,250	-0,079	$6,265 \cdot 10^{-3}$				8,250	-0,062	$3,894 \cdot 10^{-3}$
5	8,395	0,066	$4,336 \cdot 10^{-3}$	8,395	0,049	$2,411 \cdot 10^{-3}$			
6	8,284	-0,045	$2,039 \cdot 10^{-3}$				8,284	-0,028	$8,07 \cdot 10^{-4}$
7	8,389	0,060	$3,582 \cdot 10^{-3}$	8,389	0,043	$1,858 \cdot 10^{-3}$			
8	8,387	0,058	$3,347 \cdot 10^{-3}$				8,387	0,075	$5,565 \cdot 10^{-3}$
9	8,413	0,084	$7,031 \cdot 10^{-3}$	8,413	0,067	$4,502 \cdot 10^{-3}$			
10	8,392	0,063	$3,95 \cdot 10^{-3}$				8,392	0,080	$6,336 \cdot 10^{-3}$
11	8,344	0,015	$2,21 \cdot 10^{-4}$	8,344	-0,002	$4 \cdot 10^{-6}$			
12	8,384	0,055	$3,009 \cdot 10^{-3}$				8,384	0,072	$5,127 \cdot 10^{-3}$
13	8,385	0,056	$3,119 \cdot 10^{-3}$	8,385	0,039	$1,529 \cdot 10^{-3}$			
14	8,163	-0,166	$2,761 \cdot 10^{-2}$				8,163	-0,149	$2,232 \cdot 10^{-2}$
15	8,230	-0,099	$9,831 \cdot 10^{-3}$	8,230	-0,116	$1,343 \cdot 10^{-2}$			
16	8,233	-0,096	$9,245 \cdot 10^{-3}$				8,233	-0,079	$6,304 \cdot 10^{-3}$
17	8,307	-0,022	$4,91 \cdot 10^{-4}$	8,307	-0,039	$1,513 \cdot 10^{-3}$			
18	8,355	0,026	$6,68 \cdot 10^{-4}$				8,355	0,043	$1,815 \cdot 10^{-3}$
19	8,323	-0,006	$3,8 \cdot 10^{-5}$	8,323	-0,023	$5,24 \cdot 10^{-4}$			
20	8,321	-0,008	$6,6 \cdot 10^{-5}$				8,321	0,009	$7,4 \cdot 10^{-5}$

$\sum_1^n C_{xi} =$ =166,583	$\sum_1^n \Delta_i^o =$ =0,087243	$\sum_1^n C_{xi} =$ =83,459	$\sum_1^n \Delta_i^o =$ =0,027575	$\sum_1^n C_{xi} =$ =83,124	$\sum_1^n \Delta_i^o =$ =0,054056
$\bar{C}_x =$ =8,329	S= =0,067762	$\bar{C}_x =$ =8,346	S= =0,055352	$\bar{C}_x =$ =8,312	S= =0,0775

Для полной выборки необходимо проверить наличие у результатов отдельных измерений грубых погрешностей (промахов) по критерию «трёх сигм», т.е. проверить наличие среди погрешностей отдельных измерений Δ_i^o

$$3S_1 = 0,203287; \quad 3S_2 = 0,166057 \quad 3S_3 = 0,2325$$

Из этих данных следует, что грубых погрешностей не имеется (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Результаты данных

Выборка	\bar{C}_x , пФ	S, пФ	$S_{\bar{C}_x}$, пФ	Границы доверительных интервалов, пФ					
				P _д =0,9		P _д =0,95		P _д =0,99	
				Δ^o	$\Delta_{\bar{C}_x}^o$	Δ^o	$\Delta_{\bar{C}_x}^o$	Δ^o	$\Delta_{\bar{C}_x}^o$
Полная	8,329≈ ≈8	0,067762≈ ≈0,07	0,015152≈ ≈0,015	±0,1172≈ ≈0,12	±0,0262≈ ≈0,026	±0,1416≈ ≈0,14	±0,0316≈ ≈0,032	±0,1938≈ ≈0,19	±0,0433≈ ≈0,04
1-я частичная	8,346≈ ≈8	0,055352≈ ≈0,06	0,017504≈ ≈0,018	±0,1012≈ ≈0,10	±0,0320≈ ≈0,032	±0,1250≈ ≈0,13	±0,0395≈ ≈0,040	±0,1798≈ ≈0,18	±0,0568≈ ≈0,06
2-я частичная	8,312≈ ≈8	0,0775≈ ≈0,08	0,024508≈ ≈0,025	±0,1418≈ ≈0,14	±0,0448≈ ≈0,04	±0,1751≈ ≈0,18	±0,0553≈ ≈0,06	±0,2518≈ ≈0,25	±0,0796≈ ≈0,08

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4**ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ****4.1. Цель работы**

Освоить понятия и порядок проведения поверки средств измерений на примере поверки средства измерений линейной величины (длины) – штанген-

циркуля и средства измерений электрической величины (напряжения переменного тока) – вольтметра.

4.2. Краткие теоретические сведения

Важнейшей характеристикой каждого экземпляра любого средства измерений является его метрологическая исправность, т.е. такое его состояние, при котором фактические его погрешности не выходят за пределы допускаемой погрешности, установленной для данного типа средства измерений. В противном случае средство измерений или не допускается к применению, или снимается с эксплуатации.

Основное различие между поверкой и калибровкой заключается в том, что поверка проводится органами государственной метрологической службы, а калибровка – метрологическими службами юридических лиц (организаций). Поверке подлежат средства измерений, предназначенные для применения или применяемые в сферах, подлежащих согласно закону государственному метрологическому контролю и надзору.

Различают три основных метода: сличения мер, прямого измерения мер, сличения показаний приборов.

Первый метод применяется в том случае, когда и эталон, и поверяемое средство измерений представляют собой меры (гири – меры массы, концевые меры длины, резисторы – меры электрического сопротивления, конденсаторы – меры электрической ёмкости и т.п.

Второй метод применяется тогда, когда эталон представляет собой меру, поверяемое средство измерений – измерительный прибор или наоборот (пример – гири и весы)

Третий метод применяется в случае, когда и эталон, и поверяемое средство измерений представляют собой измерительные приборы (пример – эталонный и поверяемый вольтметры, термометры, манометры).

Абсолютная погрешность штангенциркуля в каждой контрольной точке вычисляется по формуле

$$\Delta = l - l_d . \quad (4.1)$$

Абсолютная допускаемая погрешность концевых мер (блоков мер), т.е. действительных значений длин, измеряемых штангенциркулем, вычисляется по формуле:

$$\Delta_M = 0,7n + 16 \sum_1^n L_i, \quad (4.2)$$

где Δ_M – абсолютная допускаемая погрешность меры (блока мер), мкм;
 n – число мер в блоке;
 L_i – длина каждой из мер в блоке, м,
и значения допускаемой абсолютной погрешности поверяемого штангенциркуля.

Абсолютная погрешность поверяемого вольтметра в каждой проверяемой точке диапазона вычисляется по формуле:

$$\Delta = U - U_d \quad (4.3)$$

Результаты вычислений представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Экспериментальные данные

Контрольная точка, действительная длина меры l_d , мм	Абсолютная допускаемая погрешность действительной длины меры, мкм	Показание штангенциркуля l , мм		Абсолютная погрешность штангенциркуля Δ , мм		Допускаемая абсолютная погрешность штангенциркуля, мм
		при увел. Длины	при умен. Длины	при увел. Длины	при умен. Длины	
9,5	$1,527 \cdot 10^5$	9,5	9,5	–	–	$\pm 0,1$
30	$4,807 \cdot 10^5$	30	30	–	–	$\pm 0,1$
62,5 (60+2,5)	$1,0014 \cdot 10^6$	62,5	62,5	–	–	$\pm 0,1$
90	$1,4407 \cdot 10^6$	90	90	–	–	$\pm 0,1$
124 (100+20+4)	$1,9861 \cdot 10^6$	124	124	–	–	$\pm 0,1$

Показатели погрешностей

Показания вольтметров, В		Абсолютная допуская погрешность эталонного вольтметра, В	Абсолютная погрешность поверяемого вольтметра, В			
Поверяемого U	Эталонного U_0		Фактическая Δ		Допускаемая	
	Прямой ход		Обратный ход	Прямой ход		Обратный ход
50	48	49	0,375	2	1	3
75	79	78	0,75	-4	-3	3
100	99	100	0,75	1	0	3
150	150	151	1,5	0	-1	3
200	196	199	1,5	4	1	3
250	250	252	1,5	0	-2	3

$|\Delta_{\max}| = 4 > 3$ (допуск. погрешность)

5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ МАЛОМ ЧИСЛЕ НАБЛЮДЕНИЙ

5.1. Цель работы

Изучение методов обработки результатов прямых измерений и форм представления результатов измерений.

5.2. Задание

Для доверительных вероятностей $P = 0,95$ $P = 0,99$ вычислить доверительные интервалы для серии измерений с объемом выборки в 4, 8, 16, 24 измерений.

Исходная выборка(30 измерений):

12,704

12,706

12,705

12,71

12,712

12,699

12,699
12,698
12,658
12,657
12,661
12,662
12,672
12,638
12,641
12,662
12,67
12,656
12,648
12,654
12,644
12,678
12,68
12,675
12,683
12,682
12,676
12,68
12,679
12,655
12,639

Ход решения:

1. Из этой выборки формируем выборку из 4, 8, 17, 25 измерений. Выборки объемом 17 и 25, а не 16 и 24 получаются, потому что в таблице значений коэфф. Стьюдента нет значений коэффициента для 16 и 24 измерений.

2. Вычисляем среднее арифметическое выборки $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$

3. Вычисляем остаточные погрешности $x_i - \bar{X}$

4. Вычисляем дисперсию по формуле: $D = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$

5. Вычисляем среднеквадратичное отклонение по формуле: $\delta_x = \sqrt{D}$

6. Вычисляем среднеквадратичное отклонение результата: $\delta_{\bar{x}} = \frac{\delta_x}{\sqrt{n}}$

7. По таблице коэффициентов Стьюдента, исходя из значений k и P, находим коэффициент $t_{P,n}$

8. Находим границы доверительного интервала: $\varepsilon = \pm t_{p,n} \cdot \delta_x$

9. Записываем решение в виде: $P(X_{\text{ср}} - \varepsilon \leq A \leq X_{\text{ср}} + \varepsilon) = P$

Таблица 5.1

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ:
Результаты вычислений для n=4:

N	X(i)	X _{ср}	X(i) - X _{ср}	(X(i) - X _{ср}) ²	D	δ(x)	δ(x _{ср})
1	12,704	12,6848	0,01925	0,00037	0,00039	0,01965	0,00983
2	12,698		0,01325	0,00018			
3	12,662		-0,0228	0,00052			
4	12,675		-0,0098	9,5E-05			
P	ε						
0,95	0,03048						
0,99	0,0574						

Решение:

$P(12,6543 \leq A \leq 12,7152) = 0,95$

$P(12,6274 \leq A \leq 12,7421) = 0,99$

Таблица 5.2

Результаты вычислений для n=8

N	X(i)	X _{ср}	X(i) - X _{ср}	(X(i) - X _{ср}) ²	D	δ(x)	δ(x _{ср})
1	12,704	12,6794	0,02463	0,00061	0,00046	0,02153	0,00761
2	12,71		0,03063	0,00094			
3	12,698		0,01863	0,00035			
4	12,662		-0,0174	0,0003			
5	12,662		-0,0174	0,0003			
6	12,654		-0,0254	0,00064			
7	12,675		-0,0044	1,9E-05			
8	12,67		-0,0094	8,8E-05			
P	ε						
0,95	0,01801						
0,99	0,02664						

Решение:

$P(12,6614 \leq A \leq 12,6974) = 0,95$

$P(12,6527 \leq A \leq 12,706) = 0,99$

Таблица 5.3

Результаты вычислений для n=17

N	X(i)	X _{ср}	X(i) - X _{ср}	(X(i) - X _{ср}) ²	D	δ(x)	δ(x _{ср})		
1	12,704	12,6733	0,03071	0,00094	0,00049	0,02215	0,00537		
2	12,683		0,00971	9,4E-05					
3	12,706		0,03271	0,00107					
4	12,675		0,00171	2,9E-06					
5	12,705		0,03171	0,00101					
6	12,68		0,00671	4,5E-05					
7	12,712		0,03871	0,0015					
8	12,644		-0,0293	0,00086					
9	12,658		-0,0153	0,00023					
10	12,657		-0,0163	0,00027					
11	12,661		-0,0123	0,00015					
12	12,662		-0,0113	0,00013					
13	12,654		-0,0193	0,00037					
14	12,672		-0,0013	1,7E-06					
15	12,641		-0,0323	0,00104				P	ε
16	12,662		-0,0113	0,00013				0,95	0,01139
17	12,67		-0,0033	1,1E-05				0,95	0,01569

Решение:

$$P(12,6619 \leq A \leq 12,6847) = 0,95$$

$$P(12,6576 \leq A \leq 12,689) = 0,99$$

Таблица 5.4

Результаты вычислений для n=25

N	X(i)	X _{ср}	X(i) - X _{ср}	(X(i) - X _{ср}) ²	D	δ(x)	δ(x _{ср})
1	12,704	12,6749	0,02912	0,00085	0,00055	0,02352	0,0047
2	12,706		0,03112	0,00097			
3	12,705		0,03012	0,00091			
4	12,71		0,03512	0,00123			
5	12,712		0,03712	0,00138			
6	12,699		0,02412	0,00058			
7	12,699		0,02412	0,00058			
8	12,698		0,02312	0,00053			
9	12,658		-0,01688	0,00028			
10	12,657		-0,01788	0,00032			
11	12,661		-0,01388	0,00019			
12	12,662		-0,01288	0,00017			
13	12,672		-0,00288	8,3E-06			
14	12,638		-0,03688	0,00136			
15	12,641		-0,03388	0,00115			
16	12,662		-0,01288	0,00017			

17	12,67		-0,00488	2,4E-05			
18	12,656		-0,01888	0,00036			
19	12,648		-0,02688	0,00072			
20	12,654		-0,02088	0,00044			
21	12,644		-0,03088	0,00095			
22	12,678		0,00312	9,7E-06			
23	12,68		0,00512	2,6E-05			
24	12,675		0,00012	1,4E-08			
25	12,683		0,00812	6,6E-05			
P	ε						
0,95	0,00971						
0,99	0,01316						

Решение:

$$P(12,6652 \leq A \leq 12,6846) = 0,95$$

$$P(12,6617 \leq A \leq 12,688) = 0,99$$

Значения коэффициента Стьюдента t для $P=0.95$ и $P=0.99$

k	P=0,95	P=0,99
3	3,102	5,841
7	2,365	3,499
16	2,12	2,921
24	2,064	2,797

В ходе работы необходимо определить доверительные интервалы для нескольких выборок исходя из заданных доверительных вероятностей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические указания к проведению практических занятий и самостоятельной работы по дисциплинам: "Основы метрологии, стандартизации, сертификации и контроля качества", "Метрология, сертификация, технические измерения и автоматизация тепловых процессов", "Метрология, стандартизация и сертификация", "Основы метрологии, стандартизации, сертификации и контроля качества" [Электронный ресурс] / Воронеж. гос. архит. - строит. ун-т, каф. теплогазоснабжения и нефтегазового дела; сост.: О. А. Сотникова, Г. Н. Мартыненко. - Воронеж: [б. и.], 2015. - 1 электрон. опт. диск. - 20-00.

2. Тришина, Т. В. Метрология, стандартизация и сертификация. Лабораторный практикум [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Т. В. Тришина, В. И. Трухачев, А. Н. Беляев. - Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра Первого, 2017. - 232 с.

3. Метрология, стандартизация и сертификация. Технические измерения [Электронный ресурс]: Лабораторный практикум / В. Е. Гордиенко [и др.]. - Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. - 148 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1	
Техника работы с измерительными приборами.....	3
2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2	
Косвенное измерение плотности твёрдых тел.....	7
3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3	
Проведение многократных измерений.....	11
4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4	
Поверка средств измерений.....	15
5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5	
Обработка результатов прямых измерений при малом числе наблюдений	18
Библиографический список.....	23

**МЕТРОЛОГИЯ. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ,
СТАНДАРТИЗАЦИИ, СЕРТИФИКАЦИИ
И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА**

Методические указания

*к проведению лабораторных работ
для студентов направлений подготовки 08.03.01 «Строительство»,
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»
всех форм обучения*

Составитель

Мартыненко Галина Николаевна

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 04.06.2021.

Формат 60x84 1/16. Бумага для множительных аппаратов.

Уч.-изд. л. 1,4. Усл. печ. л. 1,3. Тираж 210 экз.

Заказ № 102

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14

Участок оперативной полиграфии издательства ВГТУ
394026 Воронеж, Московский просп., 14