

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра теоретической и промышленной теплоэнергетики

МЕТРОЛОГИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ
для студентов направления 13.03.01
«Теплоэнергетика и теплотехника»
(профиль «Промышленная теплоэнергетика»)
всех форм обучения

Воронеж 2021

УДК 389.1(07)
ББК 30.10я7

Составитель А. А. Надеев

Метрология: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль «Промышленная теплоэнергетика») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А. А. Надеев. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 40 с.

В методических указаниях приведена последовательность выполнения лабораторных работ по дисциплине «Метрология»: цель работы, соответствующие теоретические данные, описание применяемых измерительных приборов, порядок проведения экспериментов, порядок обработки полученных результатов экспериментальных исследований. Также приведены контрольные вопросы к каждой работе.

Предназначены для студентов направления подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль «Промышленная теплоэнергетика») всех форм обучения. Будут полезны для студентов, обучающихся по другим направлениям или профилям подготовки.

Ил. 11. Табл. 16. Библиогр.: 7 назв.

УДК 389.1(07)
ББК30.10я7

Рецензент – зав. кафедрой ТПТЭ, канд. техн. наук, доцент В.В. Портнов

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы по дисциплине «Метрология» предназначены для закрепления теоретического материала и приобретения необходимых навыков в постановке и проведении экспериментальных исследований и обработке их результатов различными методами.

Для выполнения каждой работы студент заранее знакомится с методическими указаниями, изучает соответствующий раздел изучаемой дисциплины и готовит необходимые таблицы наблюдений или измерений. По каждой работе студент оформляет письменный отчёт, который должен включать цель работы, краткие теоретические сведения, схему лабораторной установки, протокол опытов, результаты обработки опытных данных и выводы.

По окончании опытов каждый студент должен показать полученные результаты преподавателю и после их одобрения отключить лабораторную установку или персональный компьютер и привести в порядок рабочее место.

Все расчёты выполняются в Международной системе единиц СИ. По каждой работе студент сдаёт зачёт преподавателю. Студенты, не сдавшие зачёт по двум работам, к выполнению следующих работ не допускаются.

Лабораторные работы предназначены для студентов, обучающихся по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», профиль «Промышленная теплоэнергетика». Умения и навыки, полученные при выполнении данных работ, необходимы при освоении дисциплины «Теплотехнические измерения и автоматизация».

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Общие требования безопасности

К выполнению работ в лаборатории «Технической термодинамики и теплотехнических измерений» кафедры теоретической и промышленной теплоэнергетики допускаются сотрудники кафедры, прошедшие инструктаж по охране труда и имеющие квалификационную группу по электробезопасности не ниже второй.

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж по охране труда у руководителя – преподавателя, ведущего занятия, о чем должна быть сделана запись в журнале инструктажа по технике безопасности. При необходимости студенты должны пройти дополнительный инструктаж у заведующего лабораториями кафедры.

В лаборатории необходимо соблюдать правила внутреннего распорядка. Не допускается находиться в верхней одежде, курить, самовольно включать лабораторные установки и работать на них, употреблять алкогольные, наркотические и токсические средства.

Помещение лаборатории по степени опасности поражения электрическим током относится к категории повышенной опасности. Источником опасности является электрический ток напряжением 220 В. Всё электрооборудование должно иметь надёжное защитное заземление.

При выполнении работ в помещении лаборатории должно находиться не менее двух человек.

Руководитель работ (преподаватель или лаборант) обязан уметь оказывать первую (доврачебную) помощь пострадавшему человеку. В случае получения студентом травмы, обнаружения неисправности оборудования немедленно сообщите руководителю работ.

За невыполнение правил техники безопасности виноватые несут ответственность в соответствии с действующим законодательством.

Требования безопасности при выполнении работы

Перед началом каждой лабораторной работы необходимо подготовить рабочее место к работе:

- убрать все посторонние предметы;
- методом визуального осмотра проверить исправность применяемого в данной работе оборудования, а также приспособлений, защитных ограждений, местного освещения, состояния проводов, кабелей.

Выполнение лабораторной работы начинать только с разрешения преподавателя или лаборанта. При выполнении работы необходимо поддерживать на рабочем месте чистоту и порядок.

Во избежание получения травм не допускается:

- производить действия с лабораторным оборудованием, не предусмотренные порядком выполнения работы;
- оставлять оборудование в рабочем состоянии без присмотра;
- загромождать лабораторные столы и проходы;
- оставлять вещи на включённом оборудовании;
- отвлекаться и отвлекать выполняющих работы посторонними разговорами и делами.

По окончании лабораторных работ отключить приборы и аппаратуру, привести в порядок рабочее место. Сообщить обо всех замечаниях в работе руководителю работ.

Требования безопасности в аварийных ситуациях

При выполнении лабораторных работ возможны следующие ситуации, которые могут привести к аварии или несчастному случаю:

- нарушение ограждения и попадание работающего по неосторожности за приборный щит;
- нарушение изоляции электрических устройств.

В случае возникновения угрозы для жизни людей, аварий с оборудованием или пожара необходимо произвести отключение оборудования и сообщить руководителю работ.

При поражении электрическим током принять меры по освобождению пострадавшего от тока, оказать первую медицинскую помощь, вызвать врача, сообщить о случившемся администрации высшего учебного заведения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АБСОЛЮТНЫХ, ОТНОСИТЕЛЬНЫХ И ПРИВЕДЁННЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Цель работы: получение практических навыков вычисления абсолютных, относительных и приведённых погрешностей средств измерений; получение навыков работы с приборами для измерения температуры.

Краткие теоретические сведения

Качество всех средств и результатов измерений принято характеризовать, указывая их погрешности. Введение понятия «погрешность» требует определения и чёткого разграничения трёх понятий: истинного и действительного значений измеряемой физической величины и результата измерения.

Истинное значение физической величины $x_{и}$ – это значение, идеальным образом отражающее свойство данного объекта как в количественном, так и в качественном отношении.

Истинное значение априори считается неизвестным и применяется только в теоретических исследованиях. В редких случаях за истинное значение принимается значение, определённое с применением первичных или вторичных эталонов. По этой причине оно заменяется понятием «действительное значение».

Действительное значение физической величины $x_{д}$ – это значение, найденное экспериментально и настолько приближающееся к истинному, что для данной цели оно может быть использовано вместо него. Действительное значение может быть определено при помощи рабочих эталонов.

Результат измерения (измеренное значение) физической величины x – это приближённая оценка истинного значения величины, найденная путём измерения (результат, полученный с помощью рабочего средства измерения).

Различают понятия «погрешность результата измерения» и «погрешность средства измерения».

Погрешность результата измерения – это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Погрешность средства измерения – это отклонение показания средства измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины. Оно характеризует точность результатов измерений, проводимых данным средством.

Эти два понятия во многом близки друг к другу и классифицируются по одинаковым признакам.

По способу выражения различают абсолютные, относительные и приведённые погрешности.

Абсолютная погрешность Δx – это разность между измеренным и истинным (действительным) значениями измеряемой величины, выраженная в тех же единицах, что и измеряемая величина:

$$\Delta x = x - x_u \approx x - x_o. \quad (1.1)$$

Абсолютная погрешность не может в полной мере служить показателем точности измерений, поэтому введено понятие «относительная погрешность».

Относительная погрешность δx – это отношение абсолютной погрешности измерения к истинному (действительному, измеренному) значению величины, выраженное в процентах:

$$\delta x = \frac{\Delta x}{x_u} \cdot 100\% \approx \frac{\Delta x}{x_o} \cdot 100\% \approx \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%. \quad (1.2)$$

Формулы (1.2) справедливы при условии, что $x_u, x_o, x \ll 0$. Если они равны нулю, то $\delta x \rightarrow \infty$.

Для нормирования погрешностей средств измерений используется приведённая погрешность.

Приведённая погрешность γx – это отношение абсолютной погрешности средства измерения к нормирующему значению X_N , обычно выражаемое в процентах:

$$\gamma x = \frac{\Delta x}{X_N} \cdot 100\%. \quad (1.3)$$

Нормирующее значение постоянно во всём диапазоне измерений или его части. Оно определяется различным образом в зависимости от шкалы прибора:

1) для приборов, имеющих двустороннюю шкалу в качестве нормирующего значения принимают ширину диапазона измерения прибора:

$$x_N = |x_{\max} - x_{\min}|. \quad (1.4)$$

где x_{\max}, x_{\min} – максимальное и минимальное значение диапазона измерения прибора.

Для приборов, имеющих одностороннюю шкалу, нижний предел измерения которых равен нулю, в качестве нормирующего значения принимают максимальное по абсолютной величине значение шкалы:

$$x_N = |x_{\max}|. \quad (1.5)$$

Для приборов, имеющих одностороннюю шкалу и нижний предел измерения больше нуля, в качестве нормирующего значения принимают разность между максимальным и минимальным значениями диапазона, аналогично формуле (1.4).

Приведённая погрешность считается основной метрологической характеристикой измерительного прибора.

Описание термометра ТК-5.06

Термометр контактный цифровой ТК-5.06 предназначен для измерения температуры жидких, сыпучих, газообразных сред посредством погружения измерительных зондов-термометров в среду (погружные измерения), контактных измерений температур поверхностей твёрдых тел (поверхностные измерения), а также измерения относительной влажности газообразных неагрессивных сред.

Термометр состоит из электронного блока и сменных зондов. На рисунке 1.1 представлен общий вид блока и погружаемого измерительного зонда ЗПГ 150 для измерения температуры жидких и сыпучих сред. В качестве чувствительного элемента в данном зонде применяется термоэлектрический преобразователь ХА(К).

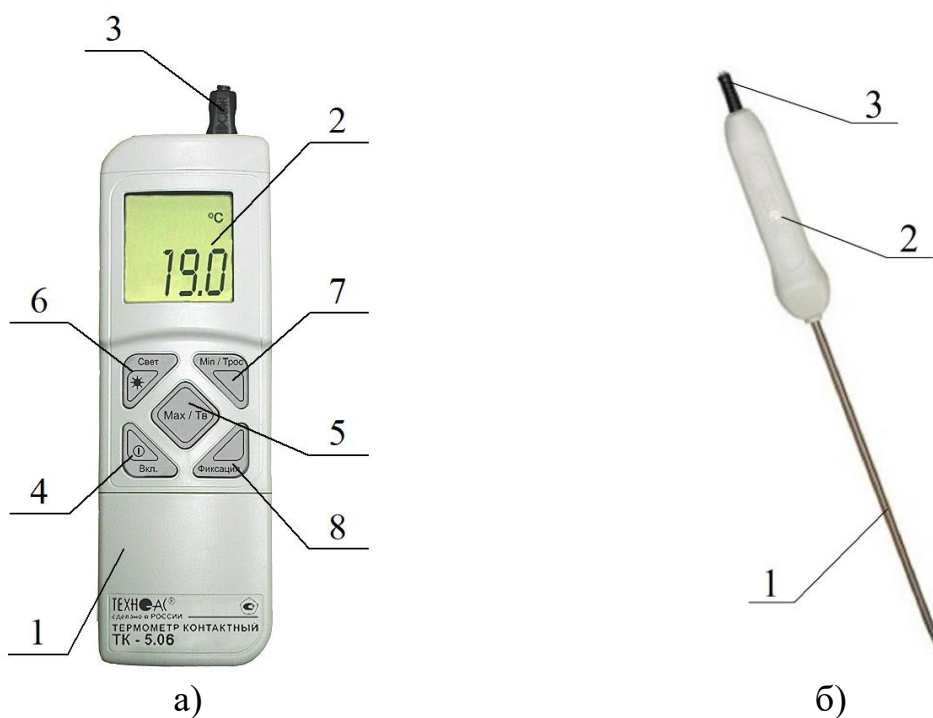


Рис. 1.1. Общий вид электронного блока термометра ТК-5.06 и зонда ЗПГ 150

Элементы электронного блока (рисунок 1.1а) следующие: 1 – корпус прибора; 2 – жидкокристаллический дисплей; 3 – разъём для подключения сменных зондов; 4 – кнопка питания; 5 – кнопка индикации максимального значения измеряемой температуры; 6 – кнопка подсветки индикатора; 7 – кнопка индикации минимального значения измеряемой температуры; 8 – кнопка фиксации измеренного значения.

Элементы погружаемого измерительного зонда (рисунок 1.1б) следующие: 1 – измерительный щуп; 2 – рукоятка; 3 – соединительный кабель.

Электронный блок термометра осуществляет преобразование сигнала, поступающего с выхода зонда, в сигнал измерительной информации, которая выводится на жидкокристаллический дисплей.

Технические характеристики термометра ТК-5.06 с зондом ЗПГ 150 приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Основные технические характеристики термометра

Параметр	Значение
Диапазон измерения температуры, °С	от - 40 до 200
Индикация результата производится с дискретностью отсчёта, °С	0,1
Показатель тепловой инерции, с, не более	6
Пределы допускаемой основной погрешности абсолютной, °С относительной, %	± 0,5 от - 40 до 100 °С ± 0,5 + (*) свыше 100 °С
Масса электронного блока, кг	0,2
Потребляемая мощность, Вт	0,03
* – единица младшего разряда	

В режиме измерения относительной влажности воздуха, т.е. при подключении к блоку зонда влажности ЗВЛ 150, кнопка 5 электронного блока служит для индикации значения температуры компенсационного датчика, а кнопка 7 – для индикации значения температуры «точки росы».

Использование термометра ТК-5.06

Порядок работы с термометром ТК-5.06 включает следующие пункты:

1. Подготовка прибора к работе.

Подключить зонд и включить питание прибора, убедиться, что батарея питания не разряжена и на дисплее высвечивается значение температуры.

2. Погрузить зонд в измеряемую среду на глубину не менее значения $15 \cdot D$ (D – диаметр термопреобразователя, мм), не прилагая при этом чрезмерных физических усилий.

3. После установления показаний, считать и записать измеренное значение температуры.

4. Вынуть зонд из измеряемой среды.

5. Выключить прибор.

Описание термопреобразователя сопротивления ДТС и измерителя-регулятора ТРМ1

Термопреобразователи сопротивления (ТПС) типа ДТС предназначены для непрерывного измерения температуры жидких, паро- и газообразных сред, сыпучих материалов и твёрдых тел, не агрессивных к материалу защитной арматуры, в различных отраслях промышленности и народного хозяйства.

На рисунке 1.2а представлен общий вид ТПС типа ДТС014-50М.В3.20/2, его технические характеристики приведены в табл. 1.2.

Элементы ТПС следующие: 1 – чувствительный элемент в защитной арматуре; 2 – кабель в оплётке; 3 – выводы.

ТПС является датчиком температуры с кабельным выходом. Он работает совместно с приборами, имеющими вход под термосопротивления. В качестве такого прибора может применяться измеритель-регулятор ТРМ1.

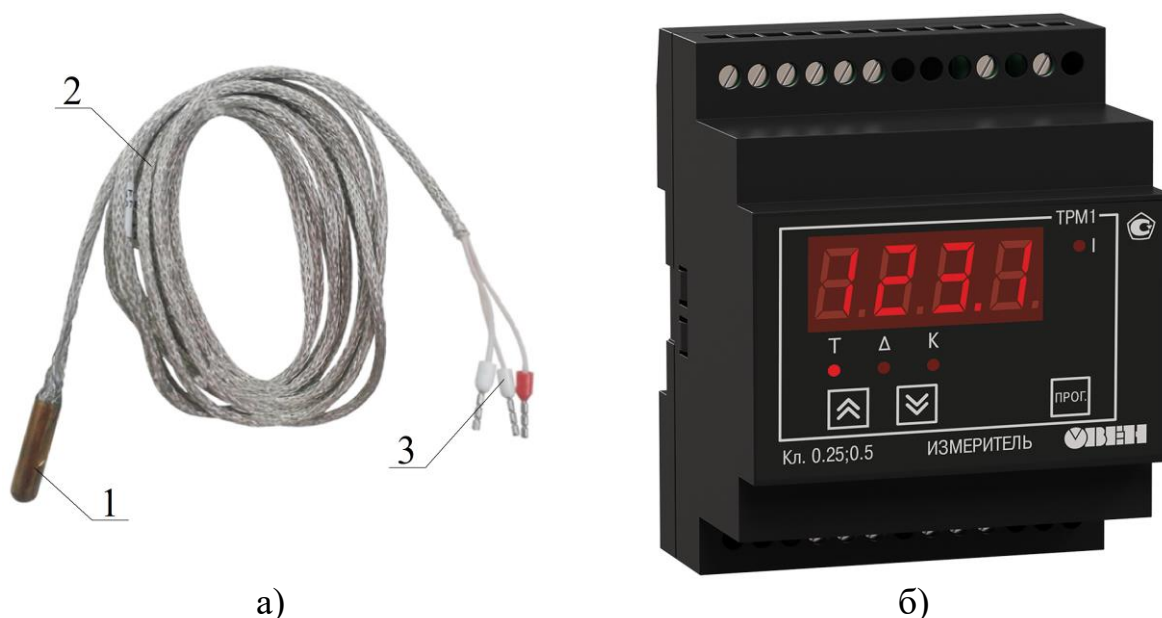


Рис. 1.2. Общий вид ТПС типа ДТС014-50М.В3.20/2
и измерителя-регулятора ТРМ1-Д.У.Р

Таблица 1.2

Основные технические характеристики ТПС

Параметр	Значение
Диапазон измерения температуры, °С	от - 40 до 150
Материал чувствительного элемента	медь
Номинальная статическая характеристика	50М
Класс допуска	В
Показатель тепловой инерции, с, не более	10
Схема соединения с прибором	3-х проводная
Материал защитной арматуры	латунь

Измеритель-регулятор микропроцессорный одноканальный ТРМ1-Д.У.Р (рисунок 1.2б) предназначен для измерения и регулирования температуры (при использовании в качестве датчиков ТС, ТП или пирометров) и других физических параметров, значения которых датчиками могут быть преобразованы в напряжение постоянного тока или в унифицированный сигнал постоянного тока. Его технические характеристики приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Основные технические характеристики измерителя-регулятора

Параметр	Значение
Количество каналов (входов)	1
Тип корпуса	DIN-реечный
Время опроса входа (ТПС), с, не более	0,8
Значение единицы младшего разряда (ТПС), °С	0,1
Предел приведённой погрешности (ТПС), %	± 0,25
Диапазон переменного напряжения питания, В	от 90 до 245
Потребляемая мощность, Вт, не более	10
Масса прибора, кг, не более	0,5

Использование термопреобразователя сопротивления ДТС и измерителя-регулятора ТРМ1

Порядок совместной работы ТПС типа ДТС и измерителя-регулятора ТРМ1 (далее «прибора») включает следующие пункты:

1. Подключить к клеммам 1 и 2 («СЕТЬ») прибора кабель сетевой 220 В.
 2. Подключить к клеммам 14, 15 и 16 («ВХОД») прибора выводы ТПС.
- Схема подключения приведена на рис. 1.3.

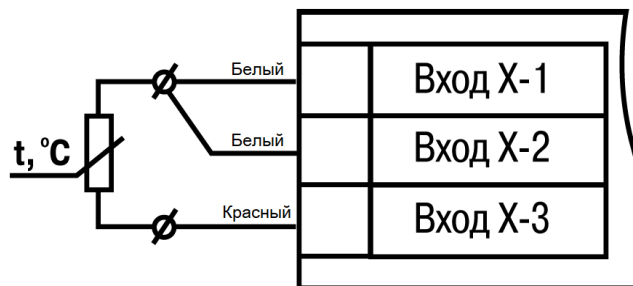


Рис. 1.3. Трёхпроводная схема подключения ТПС

3. Подключить прибор к источнику питания.
4. Произвести настройку прибора:
 - нажать и удерживать кнопку «ПРОГ.» на лицевой панели прибора не менее 3 с. для входа на второй уровень настройки. На цифровом индикаторе высветится «- - -»;
 - нажать кнопку «ПРОГ.» для перехода к группе параметров «А»;
 - нажать кнопку «^» для перехода к группе параметров «b»;
 - нажать кнопку «ПРОГ.» для входа в группу параметров «b». На цифровом индикаторе высветится «- - -»;
 - нажать кнопку «ПРОГ.». На цифровом индикаторе высветится «b1-0». В данной подгруппе настраивается тип датчика, работающего на входе (канале) прибора.
 - нажать кнопку «ПРОГ.» для настройки этого параметра. Кнопками «^» и «v» установить на цифровом индикаторе значение, соответствующее подключаемому датчику. Нажать кнопку «ПРОГ.»
 - кнопками «^» и «v» перейти к значению «OUT» на цифровом индикаторе. Нажать кнопку «ПРОГ.» Данный пункт повторяется дважды. На цифровом индикаторе должно высветиться значение температуры.
5. Погрузить чувствительный элемент ТПС в измеряемую среду на глубину не менее 4 см.
6. После установления показаний на цифровом индикаторе прибора, считать и записать измеренное значение температуры.
7. Вынуть чувствительный элемент ТПС из измеряемой среды.
8. Выключить прибор.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с контактным термометром ТК-5.06 и порядком работы с ним.

2. Ознакомиться с термопреобразователем сопротивления ДТС и измерителем-регулятором ТРМ1 и порядком работы с ними.

3. Произвести подключение и настройку термопреобразователя ДТС и измерителя-регулятора ТРМ1. В подгруппе «b1-0» прибора указать значение «09», соответствующее ТПС с номинальной статической характеристикой 50М (табл. 1.2).

4. Подготовить измеряемую среду – нагретую до температуры кипения воду.

5. Погрузить в измеряемую среду измерительный зонд термометра ТК-5.06 и чувствительный элемент ТПС. Они не должны касаться стенок ёмкости.

6. Произвести измерение температуры воды через заданные промежутки времени с момента погружения.

При использовании термометра ТК-5.06 для фиксации измеренного значения температуры воды можно воспользоваться кнопкой 8 (рисунок 1.1а).

Результаты измерений занести в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Результаты измерений

τ , мин	t , °С ТК-5.06	θ , °С ДТС+ТРМ1	τ , мин	t , °С ТК-5.06	θ , °С ДТС+ТРМ1
1			17		
2			21		
3			25		
4			29		
6			33		
8			37		
11			41		
14			45		

7. Вычислить относительную погрешность измерения температуры среды термометром ТК-5.06 по формуле (1.2).

8. Вычислить приведённую погрешность измерения температуры среды термометром ТК-5.06 по формуле (1.3). Нормирующее значение определяется по табл. 1.1.

9. Считая термометр ТК-5.06 более точным средством измерения температуры, вычислить по формулам (1.1) и (1.2) абсолютное и относительное отклонение показаний, полученных с помощью комплекта ДТС + ТРМ1.

10. Результаты вычислений занести в табл. 1.5.

Результаты вычислений

$t, ^\circ\text{C}$	ТК-5.06			ДТС+ТРМ1	
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\delta t, \%$	$\gamma t, \%$	$\Delta \theta, ^\circ\text{C}$	$\delta \theta, \%$
t_1					
t_2					
t_3					
...					
t_{37}					
t_{41}					
t_{45}					

Отчёт по лабораторной работе

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Определение истинного, действительного и измеренного значений физической величины, погрешностей результата и средства измерений.
3. Формулы (1.1) - (1.4) для вычисления погрешностей с описанием входящих в них величин.
4. Таблица 1.4 – Результаты измерений.
5. Таблица 1.5 – Результаты вычислений.
6. Вычисления в соответствии с пунктами 7-9 порядка выполнения работы.
7. Выводы по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Какие значения может принимать физическая величина?
2. В чём заключается особенность истинного значения физической величины?
3. Что означает «погрешность результата измерения» и «погрешность средства измерения»?
4. Как определяется абсолютная, относительная и приведённая погрешность измерения?
5. Каким образом определяется нормирующее значение?
6. Поясните назначение термометра ТК-5.06.
7. Поясните назначение измерителя-регулятора ТРМ1.
8. Поясните принцип совместной работы ДТС и ТРМ1.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОКРАТНЫХ РАВНОТОЧНЫХ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Цель работы: изучение методов обработки результатов многократных равноточных прямых измерений и форм представления результатов измерений; получение навыков работы прибором, предназначенным для измерения влажности твёрдых тел.

Краткие теоретические сведения

Результаты многократных наблюдений, получаемые при прямых измерениях физической величины X , называются равноточными (равнорассеянными), если они являются независимыми, одинаково распределёнными случайными величинами. Эти измерения проводятся одним наблюдателем в одинаковых условиях внешней среды и с помощью одного и того же средства измерения.

Доверительными границами погрешности результата измерений называются наибольшее и наименьшее значения погрешности измерений, ограничивающие интервал, внутри которого с заданной вероятностью находится истинное значение погрешности результата измерений [1].

Статистическая обработка группы результатов наблюдений при многократных равноточных измерениях, нормальном распределении, выполняется в соответствии с [2] в следующей последовательности:

1. Производятся многократные равноточные измерения физической величины X . После отбрасывания сомнительных результатов (грубых погрешностей измерений) по методике, указанной в [7], получают результаты n измерений: x_1, x_2, \dots, x_n .

2. Среднее основного нормального распределения (математическое ожидание) оценивается как среднее арифметическое n результатов измерений:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (2.1)$$

3. Определяется оценка среднеквадратического отклонения среднего арифметического:

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n \cdot (n-1)}}. \quad (2.2)$$

4. Доверительный интервал рассчитывается с учётом заданной доверительной вероятности P :

$$\bar{X} - S_{\bar{X}} \cdot t_{n,P} < X < \bar{X} + S_{\bar{X}} \cdot t_{n,P}, \quad (2.3)$$

где $t_{n,P}$ – квантиль распределения Стьюдента.

Значения $t_{n,P}$ в зависимости от заданной доверительной вероятности P и количества измерений n даны в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Значения квантиля распределения Стьюдента

$n-1$	$P=0,95$	$P=0,99$	$n-1$	$P=0,95$	$P=0,99$
3	3,182	5,841	16	2,120	2,921
4	2,776	4,604	18	2,101	2,878
5	2,571	4,032	20	2,086	2,845
6	2,447	3,707	22	2,074	2,819
7	2,365	3,499	24	2,064	2,797
8	2,306	3,355	26	2,056	2,779
10	2,228	3,165	28	2,048	2,763
12	2,179	3,055	30	2,043	2,750
14	2,145	2,977	∞	1,960	2,576

Описание анализатора влажности «ЭВЛАС-2М»

Анализатор влажности «ЭВЛАС-2М» (далее влагомер) предназначен для экспрессного определения массовой доли влаги в продукции сельского хозяйства и продуктах её переработки, пищевых продуктах и кондитерских изделиях, химикатах, фармацевтических и строительных материалах гравиметрическим методом в лабораторных условиях.

Основные технические характеристики анализатора влажности приведены в табл. 2.2.

Общий вид влагомера представлен на рисунке 2.1. Влагомер содержит следующие основные функциональные узлы:

- микропроцессорный блок управления со взвешивающим устройством;
- сушильную камеру с нагревателем.

Основные технические характеристики анализатора влажности

Параметр	Значение
Диапазон измерения влажности материала, %	от 0 до 100
Предел абсолютной инструментальной погрешности прибора, %	не более $\pm 0,2$
Диапазон значений погрешностей результатов измерения влажности в зависимости от анализируемого материала, %	от $\pm 0,2$ до $\pm 1,5$
Диапазон установки температур рабочих режимов, °С	от 60 до 160
Абсолютная погрешность взвешивающего устройства, г	0,005
Индикация результата производится в цифровой форме с дискретностью отсчёта, %	0,01
Диапазон массы навески для проведения анализа, г	от 2 до 10
Время прогрева и установления рабочего режима, мин	не более 30
Масса, кг	6
Потребляемая мощность, Вт	не более 370

Для управления параметрами влагомера микропроцессорный блок снабжён алфавитно-цифровым индикатором и клавиатурой.



Рис. 2.1. Общий вид влагомера «ЭВЛАС-2М»:
1 – алфавитно-цифровой индикатор; 2 – клавиатура

Расположение кнопок на клавиатуре анализатора влажности представлено на рисунке 2.2.

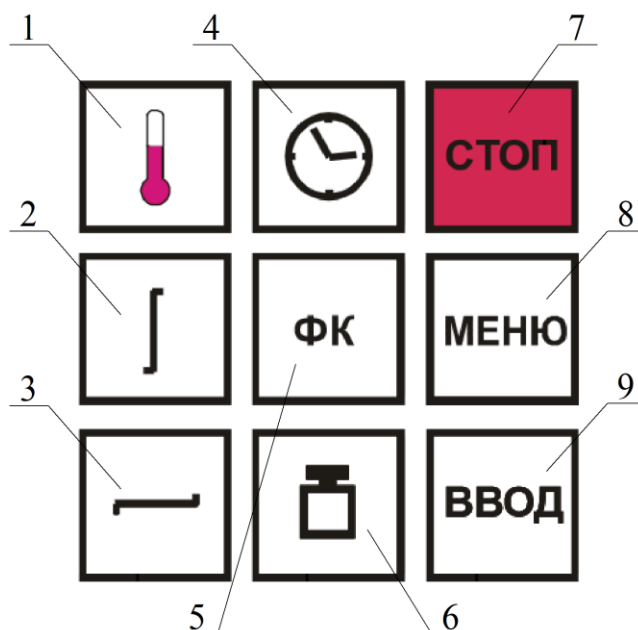


Рис. 2.2. Расположение кнопок на клавиатуре

Функциональное назначение кнопок:

- кнопка 1 – установка температуры рабочих режимов в сушильной камере;
- кнопка 2 – установка значения порога срабатывания влагомера;
- кнопка 3 – установка значения опроса влагомера;
- кнопка 4 – установка времени высушивания пробы (режим «Таймер»);
- кнопка 5 – переключение увеличения / уменьшения при установке значения порога, опроса, температуры;
- кнопка 6 – выбор градуировочной гири (5 г или 10 г);
- кнопка 7 – прерывание программы измерения влагомера;
- кнопка 8 – выбор параметра отключения влагомера («Таймер» или «Порог»);
- кнопка 9 – ввод данных.

Использование анализатора влажности

Порядок работы с анализатором влажности «ЭВЛАС-2М» включает следующие пункты:

1. Подготовка влагомера к работе.

Установить влагомер на ровной устойчивой площадке, где обеспечивается удобство работ, и соблюдаются условия эксплуатации. Регулировкой высоты опорных ножек влагомера установить его в горизонтальное положение с использованием уровня. Выключатель питания установить в положение «ВЫКЛЮЧЕНО». Подсоединить шнур питания к розетке сети.

2. Подготовка проб материала.

Все анализируемые материалы при проведении анализа должны быть однородными по влажности и температуре.

Нормальные условия подготовки проб:

- температура окружающего воздуха 20 ± 2 °С;
- относительная влажность воздуха до 80% при 25 °С;
- атмосферное давление 630...795 мм рт. ст.

3. Прогрев влагомера.

Для обеспечения нормального функционирования влагомер должен быть прогрет в течение 30 мин. Время прогрева задано программно.

После подачи напряжения питания установкой выключателя питания в положение «ВКЛЮЧЕНО» на индикатор выводится версия программного обеспечения, наименование модели влагомера и его заводской номер. Через 2 с после этого выводится сообщение «ПРОГРЕВ».

Нажмите кнопку 9. На индикатор выводится сообщение «ПОСТАВЬТЕ ЧАШУ И ГИРЮ. НАЖМИТЕ ВВОД». Откройте сушильную камеру, поставьте на крестовину взвешивающего устройства пустую чистую чашу для проб, поместите гирю массой 5 г в центр чаши, нажмите кнопку «ВВОД».

В сушильной камере включается нагреватель, на индикатор выводится текущее время прогрева и сообщение «ПРОГРЕВ». Через 30 мин нагреватель автоматически выключается, окончание прогрева сопровождается прерывистым кратковременным звуковым сигналом, и на индикатор выводится сообщение «Т °С. ОПРОС ПОРОГ» с предварительно выставленными значениями. Уберите чашу с гирей из сушильной камеры. Закройте сушильную камеру.

Прерывание полной программы прогрева осуществляется кнопкой 8.

4. Подготовка к измерению.

Кнопкой 8 установите нужный Вам параметр отключения: «Таймер» или «Порог».

При выборе параметра отключения «Таймер» кнопкой 1 выставьте нужную Вам температуру, а кнопкой 4 выставьте время, в течение которого будет высушиваться Ваша проба. Если Вы выставите знак «∞» при выборе времени – влагомер будет высушивать Вашу пробу бесконечно долго.

При выборе параметра отключения «Порог» кнопкой 1 выставьте нужную Вам температуру, при которой будет высушиваться Ваша проба, кнопкой 3 выставьте необходимое Вам значение опроса, а кнопкой 2 – порог срабатывания. Если значение порога срабатывания равно 0,00 % – влагомер будет работать в автоматическом режиме.

Переключение увеличения/уменьшения при установке значения порога, опроса, температуры осуществляется кнопкой 5.

Нажмите кнопку 9. На индикатор выводится установленные параметры и сообщение «ПОСТАВЬТЕ ЧАШУ. НАЖМИТЕ ВВОД».

5. Тарирование и градуирование взвешивающего устройства влагомера.

Откройте сушильную камеру. Поставьте на крестовину взвешивающего устройства пустую чистую чашу для проб.

Закройте сушильную камеру, нажмите кнопку 9. На индикатор выводится сообщение «ЖДИТЕ». По окончании измерения массы чаши на индикатор выводится сообщение «ПОСТАВЬТЕ ГИРЮ 5000 мг. НАЖМИТЕ ВВОД».

Откройте сушильную камеру, поместите гирию массой 5 г (класс точности гири не хуже II (F1)) в центр чаши для проб. При массе пробы более 6 г градуирование необходимо осуществлять гирей массой 10 г. Выбор гири осуществляется кнопкой 6.

Закройте сушильную камеру, нажмите кнопку «ВВОД». На индикатор выводится сообщение «ЖДИТЕ». По окончании измерения массы гири на индикатор выводится на 3-4 секунды сообщение «ПОСТАВЬТЕ ПРОБУ».

Откройте сушильную камеру, уберите гирию с чаши.

6. Процесс измерения.

Снимите чашу со взвешивающего устройства влагомера и поставьте её на чистую ровную поверхность. Поместите в чашу пробу, равномерно распределив её по поверхности чаши. Поставьте чашу с пробой на крестовину взвешивающего устройства и нажмите кнопку 9. На индикатор выводится значение массы навески в мг и сообщение «НАЖМИТЕ ВВОД». Если масса навески отличается от указанной в методике выполнения измерений, снимите чашу, увеличьте или уменьшите массу навески и поставьте чашу обратно.

Закройте сушильную камеру, дождитесь устойчивых показаний влагомера, нажмите и удерживайте кнопку 9 до очистки индикатора.

Подтверждение выполнения команд осуществляется кратковременным звуковым сигналом.

Через определённый промежуток времени, определяемый рабочим режимом, в сушильной камере включится нагреватель, а на индикатор выводится текущее время измерения, текущее значение массовой доли влаги в %, температура в сушильной камере и параметр отключения.

По окончании анализа нагреватель автоматически выключается, выдаётся прерывистый кратковременный звуковой сигнал и на индикатор выводится результат измерения в % и значение общего времени измерения.

Для проведения следующего измерения откройте сушильную камеру, уберите с крестовины взвешивающего устройства чашу с высушенной пробой, нажмите кнопку 8 и выполните действия, определённые пунктами 5 и 6.

ВНИМАНИЕ!

ИНТЕРВАЛ ВРЕМЕНИ МЕЖДУ ДВУМЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМИ ИЗМЕРЕНИЯМИ ДОЛЖЕН СОСТАВЛЯТЬ НЕ МЕНЕЕ 5 МИН, ПРИ ЭТОМ СУШИЛЬНАЯ КАМЕРА ДОЛЖНА БЫТЬ ОТКРЫТА, ЧАША ДЛЯ ПРОБ С КРЕСТОВИНЫ СНЯТА.

КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ ИЗМЕНЯТЬ МАССУ НАВЕСКИ В ЧАШЕ, НАХОДЯЩЕЙСЯ НА КРЕСТОВИНЕ ВЗВЕШИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА.

Прерывание программы измерения осуществляется нажатием и удерживанием кнопки 7.

Для отключения питания установите выключатель питания в положение «ВЫКЛЮЧЕНО».

Методика определения влажности анализатором влажности «ЭВЛАС-2М»

Существуют два варианта определения влажности твёрдых (сыпучих, порошкообразных, мелкокусковых) веществ гравиметрическим методом: термическая сушка и поглощение влаги осушителями. В анализаторе влажности «ЭВЛАС-2М» применяется первый метод. В данном случае о содержании влаги в твёрдом веществе судят по уменьшению массы образца после продолжительной воздушно-тепловой сушки в сушильной камере до постоянной массы или заданного порогового значения.

Количественным параметром, отражающим наличие в материале влаги, является влажность W , %. Она вычисляется влагомером автоматически по формуле

$$W = \frac{M_{\text{в}} - M_{\text{с}}}{M_{\text{в}}} \cdot 100 \%, \quad (2.4)$$

где $M_{\text{в}}$, $M_{\text{с}}$ – масса влажного и масса абсолютно сухого материала, соответственно, г.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с измерительным прибором (анализатором влажности «ЭВЛАС-2М»), принципом его работы и методикой измерения влажности.

2. Подготовить высушиваемый твёрдый материал – силикагель со средним эквивалентным диаметром частиц 3,8 мм.

3. Подготовить влагомер к работе. Установить параметр отключения «Порог».

Установить температуру высушивания пробы 160 °С, значение опроса – 28 сек., порог срабатывания – 0,02 %.

4. Произвести измерение влажности силикагеля. Масса одной пробы должна составлять $4,5 \pm 0,5$ г. Общее количество проб – 16.

Результаты измерений занести в табл. 2.3.

Результаты измерений

№ измерения	W, %	№ измерения	W, %	№ измерения	W, %	№ измерения	W, %
1		5		9		13	
2		6		10		14	
3		7		11		15	
4		8		12		16	

5. Сформировать три выборки, состоящие из первых 4, 8 и 16 измерений. Дальнейшие расчёты производятся для всех выборок.

6. Вычислить среднее арифметическое результатов измерений \bar{W} , % по формуле (2.1).

7. Вычислить среднеквадратическое отклонение среднего арифметического $S_{\bar{W}}$ по формуле (2.2).

8. По табл. 2.1 определить значение квантиля распределения Стьюдента $t_{n,P}$, если доверительная вероятность равна 0,95 и 0,99.

9. Вычислить нижнюю и верхнюю границы доверительного интервала по формулам

$$W_n = \bar{W} - t_{n,P} \cdot S_{\bar{W}}; \quad (2.5)$$

$$W_g = \bar{W} + t_{n,P} \cdot S_{\bar{W}}. \quad (2.6)$$

10. Результаты вычислений занести в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Результаты вычислений для $n = \underline{\hspace{2cm}}$

\bar{W} , %	$S_{\bar{W}}$	P	$t_{n,P}$	$\varepsilon = t_{n,P} \cdot S_{\bar{W}}$	W_n , %	W_g , %
		0,95				
		0,99				

11. Записать окончательный результат измерения влажности силикагеля в двух формах:

$$W_n < W < W_g; P = \underline{\hspace{2cm}};$$

$$W = \bar{W} \pm \varepsilon \text{ %}; P = \underline{\hspace{2cm}}.$$

Отчёт по лабораторной работе

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Определение равноточных измерений и доверительных границ.
3. Формулы (2.1) - (2.3) для статистической обработки результатов наблюдений с описанием входящих в них величин.
4. Таблица 2.3 – Результаты измерений.
5. Три таблицы 2.4 – Результаты вычислений.
6. Вычисления в соответствии с пунктами 6-9 и 11 порядка выполнения работы.
7. Выводы по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. В каких случаях измерения называют равноточными?
2. Опишите последовательность статистической обработки результатов многократных равноточных измерений.
3. Каким образом вычисляется среднеквадратическое отклонение?
4. Каким образом вычисляется доверительный интервал?
5. Поясните назначение анализатора влажности «ЭВЛАС-2М».
6. Назовите основные функциональные узлы влагомера.
7. Опишите методику определения влажности, применяемую в анализаторе влажности.
8. Как значение доверительной вероятности влияет на границы доверительного интервала?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ГРАДУИРОВКА И ПОВЕРКА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Цель работы: изучение методов поверки средств измерений; получение практических навыков градуировки и поверки термоэлектрических преобразователей.

Краткие теоретические сведения

Градуировка средств измерений – это метрологическая операция, при помощи которой средство измерений (меру или измерительный прибор) снабжают шкалой или градуировочной таблицей (кривой).

Отметки шкалы должны с требуемой точностью соответствовать значениям измеряемой величины, а таблица (кривая) с требуемой точностью отражать связь эффекта на выходе измерительного прибора с величиной, подводимой к входу $X = f(Y)$ (рисунок 3.1).

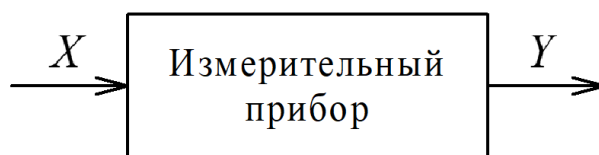


Рис. 3.1. Схема средства измерения:
 X – входная величина; Y – выходная величина

Градировка производится с помощью более точных, чем градуируемые, средств измерений, по показаниям которых устанавливают действительные значения измеряемой величины. Точные средства измерений градуируются индивидуально, менее точные снабжаются типовой шкалой, напечатанной заранее, или стандартной таблицей (кривой) градуировки.

Поверка средств измерений – совокупность операций, выполняемых с целью подтверждения соответствия средств измерений установленным метрологическим требованиям.

Выделяют четыре метода поверки средств измерений:

- 1) метод непосредственного сравнения с эталоном;
- 2) метод сличения при помощи компьютера;
- 3) метод прямых измерений величины;
- 4) метод косвенных измерений величины.

Наиболее простым методом поверки является первый метод. Он базируется на осуществлении измерений одной и той же физической величины поверяемым прибором и эталонным прибором одновременно. Погрешность поверяемого прибора вычисляется как разность показаний калибруемого прибора и эталонного прибора (т.е. показания эталонного прибора принимаются за настоящее значение измеряемой физической величины).

Преимущества метода непосредственного сличения с эталоном: простота; наглядность; возможность автоматической поверки; возможность проведения калибровки с помощью ограниченного количества приборов и оборудования.

Принцип действия термоэлектрических преобразователей

Принцип работы термоэлектрических преобразователей (ТЭП) основан на термоэлектрическом эффекте (эффекте Зеебека). Он заключается в том, что в замкнутой электрической цепи, состоящей из двух или более последователь-

но соединённых разнородных проводников, возникает электрический ток, если хотя бы два места их соединения (спая) имеют разную температуру.

Чувствительным элементом ТЭП является термопара – два разнородных проводника, соединённых (скруткой, пайкой, сваркой) только на одном конце (рисунок 3.2).

Спай 1 называется рабочим спаем термопары, т.к. он помещается в контролируемую среду. Концы термоэлектродов 2 и 3 называются свободными концами термопары. Они служат для подключения измерительного прибора.

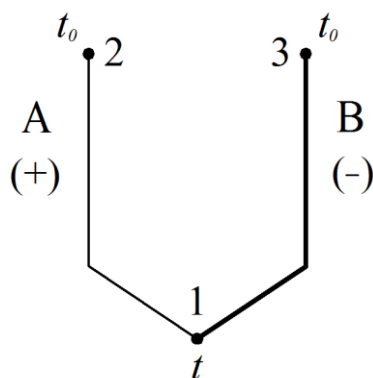


Рис. 3.2. Схема термопары:

1 – рабочий спай; 2, 3 – свободные концы; А, В – термоэлектроды

Термоэлектродвижущая сила (термо-ЭДС), т.е. напряжение постоянного тока, вырабатываемая термопарой, обозначается $E_{AB}(t, t_0)$, мВ. Её величина зависит от обеих температур, причём она увеличивается с увеличением разности $(t - t_0)$. Если $t = t_0$, то $E_{AB}(t, t_0) = 0$.

Градуировка ТЭП производится при температуре свободных концов $0\text{ }^\circ\text{C}$. В том случае, если температура t_0 отличается от $0\text{ }^\circ\text{C}$, то вводится поправка на температуру свободных концов:

$$E_{AB}(t, 0) = E_{AB}(t, t_0) \pm E_{AB}(t_0, 0), \quad (3.1)$$

где $E_{AB}(t, 0)$ – табличное значение термо-ЭДС по ГОСТ; $E_{AB}(t, t_0)$ – измеренная термо-ЭДС; $E_{AB}(t_0, 0)$ – поправка (знак «+», если $t_0 > 0\text{ }^\circ\text{C}$; знак «-», если $t_0 < 0\text{ }^\circ\text{C}$).

Операции поверки термоэлектрических преобразователей

При проведении первичной и периодической поверок ТЭП должны быть выполнены операции, указанные в таблице 3.1.

Операции поверки ТЭП

Наименование операции	Проведение операции при поверке	
	первичной	периодической
Внешний осмотр	Да	Да
Проверка электрической прочности изоляции	Да	Нет
Проверка электрического сопротивления изоляции	Да	Да
Проверка нестабильности	Да	Нет
Определение ТЭДС ЧЭ ТЭП при заданных значениях температуры	Да	Да

Описание термоэлектрического преобразователя ДТПЛ011

Термоэлектрические преобразователи типа ДТПЛ011 предназначены для непрерывного измерения температуры различных рабочих сред (например, пара, газа, воды, сыпучих материалов, химических реагентов и т.п., а также поверхностей твёрдых тел), не агрессивных к материалу термоэлектродов и защитной изоляции.

На рисунке 3.3 представлен общий вид ТЭП типа ДТПЛ 011-0,5/1,5.

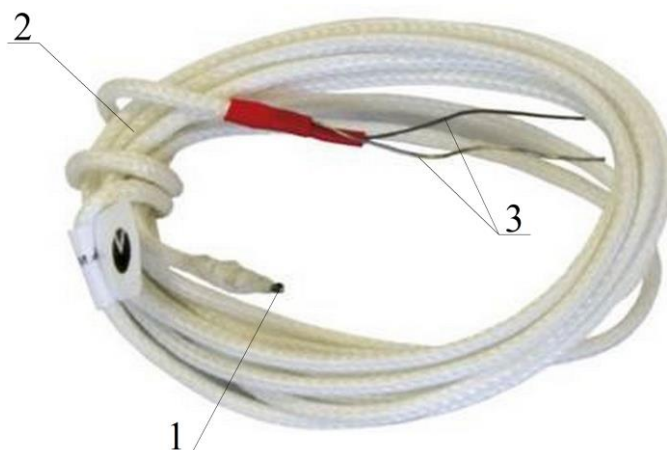


Рис. 3.3. Общий вид ТЭП типа ДТПЛ 011-0,5/1,5:
1 – рабочий спай; 2 – термоэлектроды в оплётке;
3 – кабельный вывод

Технические характеристики термоэлектрического преобразователя типа ДТПЛ011 приведены в табл. 3.2.

Основные технические характеристики ТЭП

Параметр	Значение
Диапазон измерения температуры, °С	от - 50 до 300
Номинальная статическая характеристика	ХК(L)
Материал термоэлектродов	хромель (+) копель (-)
Диаметр термоэлектродов, мм	0,5
Класс допуска	2
Показатель тепловой инерции, с, не более	3
Материал изоляции	нить К11С6

Схема лабораторного стенда

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде, схема которого представлена на рисунке 3.4.

Градуированным и поверяемым средством измерения температуры является ТЭП 2 типа ДТПЛ 011-0,5/1,5. Для измерения его термо-ЭДС применяется милливольтметр 4.

В качестве рабочего эталона 2, средства измерения более высокого класса точности, применяется термометр контактный цифровой ТК-5.06, описание которого приведено в лабораторной работе № 1.

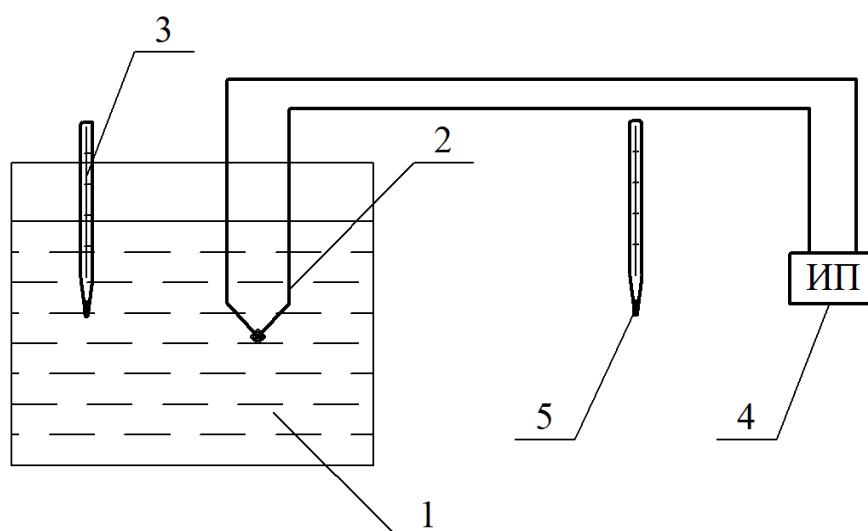


Рис. 3.4. Схема лабораторного стенда:
1 – ёмкость с водой; 2 – ТЭП; 3 – рабочий эталон;
4 – измерительный прибор; 5 – вспомогательный термометр

Вспомогательный лабораторный ртутный термометр 5 служит для измерения температуры свободных концов термоэлектрического преобразователя, которая равна температуре воздуха в помещении лаборатории.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методикой градуировки и поверки термоэлектрического преобразователя и схемой лабораторного стенда.
2. Ознакомиться с контактным термометром ТК-5.06 и порядком работы с ним.
3. Ознакомиться с термоэлектрическим преобразователем ДТЭЛ 011.
4. Произвести подключение ТЭП к измерительному прибору (милливольтметру).
5. Подготовить измеряемую среду – нагретую до температуры кипения воду.
6. Погрузить в измеряемую среду зонд термометра ТК-5.06 и рабочий спай ТЭП на глубину не менее 4 см. Они не должны касаться стенок ёмкости.
7. Произвести измерение термо-ЭДС, вырабатываемой ТЭП $E(t, t_0)$, соответствующей заданным температурам t , измеряемым термометром ТК-5.06.
8. С помощью вспомогательного лабораторного ртутного термометра измерить температуру свободных концов ТЭП t_0 .
9. По ГОСТ Р 8.585-2001 определить термо-ЭДС $E(t_0, 0)$, соответствующую температуре t_0 для ТЭП типа хромель-копель.
10. Результаты измерений занести в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Результаты измерений

t , °C	$E(t, t_0)$, мВ	t_0 , °C	$E(t_0, 0)$, мВ	t , °C	$E(t, t_0)$, мВ	t_0 , °C	$E(t_0, 0)$, мВ
90				60			
85				55			
80				50			
75				45			
70				40			
65				35			

11. По формуле (3.1) вычислить термо-ЭДС $E(t, 0)$, вырабатываемую ТЭП, с учётом поправки на температуру свободных концов.

12. По ГОСТ Р 8.585-2001 определить температуру среды $t_{ТЭП}$, измеряемую ТЭП и соответствующую термо-ЭДС $E(t,0)$, используя формулу линейной интерполяции:

$$Y = Y_1 + (Y_2 - Y_1) \cdot \frac{X - X_1}{X_2 - X_1}. \quad (3.2)$$

Параметры в данной формуле определяются в соответствии со следующей схемой:

$$\begin{bmatrix} X_1 \rightarrow Y_1 \\ X \rightarrow Y \\ X_2 \rightarrow Y_2 \end{bmatrix}.$$

13. Вычислить абсолютную погрешность измерения температуры $\Delta_1 t$, т.е. отклонение результатов измерения температуры с помощью ТЭП от показаний рабочего эталона, по формуле

$$\Delta_1 t = |t_{ТЭП} - t|. \quad (3.3)$$

14. Вычислить относительную погрешность измерения температуры δt по формуле

$$\delta_1 t = \frac{\Delta_1 t}{t_{ТЭП}} \cdot 100. \quad (3.4)$$

15. По ГОСТ Р 8.585-2001 определить термо-ЭДС $E(t,0)_{НСХ}$, соответствующую температуре t для ТЭП типа хромель-копель.

16. Вычислить абсолютную погрешность измерения термо-ЭДС ΔE по формуле

$$\Delta E = |E(t,0) - E(t,0)_{НСХ}|. \quad (3.5)$$

17. По ГОСТ Р 8.585-2001 определить абсолютную погрешность измерения температуры $\Delta_2 t$, соответствующую погрешности ΔE для ТЭП типа хромель-копель.

Так как НСХ термоэлектрических термопреобразователей типа ХК(L) является нелинейной, погрешность $\Delta_2 t$ вычисляется для температурного диапазона $10 \text{ }^\circ\text{C}$, т.е. $t \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

18. Результаты вычислений занести в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Результаты вычислений

t , °C	$E(t,0)$, мВ	$t_{ТЭП}$, °C	$\Delta_1 t$, °C	δt , %	$E(t,0)_{НСХ}$, мВ	ΔE , мВ	$\Delta_2 t$, °C
90							
85							
...							
40							
35							

19. По ГОСТ 6616-94 определить предел допускаемого отклонения от НСХ $\Delta_\delta t$ для ТЭП типа ХК(L). Класс допуска указан в таблице 3.2.

20. Произвести сравнение допускаемого отклонения $\Delta_\delta t$ и вычисленных двумя методами погрешностей $\Delta_1 t$ и $\Delta_2 t$ для полученного диапазона измерения температуры среды t .

Отчёт по лабораторной работе

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Определение градуировки и поверки средств измерений, методы поверки средств измерений.
3. Определение термопары, схема термопары (рисунок 3.2), формула (3.1) с описанием входящих в неё величин.
4. Схема лабораторного стенда (рисунок 3.4).
5. Таблица 3.3 – Результаты измерений.
6. Таблица 3.4 – Результаты вычислений.
7. Вычисления в соответствии с пунктами 12-17 и 19-20 порядка выполнения работы.
8. Выводы по лабораторной работе. В них должно быть указано, выходит ли погрешность измерения температуры с помощью ТЭП типа ДТПЛ011 за допускаемые пределы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение градуировки средств измерений.
2. Каким образом производится градуировка?

3. Дайте определение поверки средств измерений.
4. Назовите четыре метода поверки средств измерений.
5. Назовите преимущества метода непосредственного сличения с эталоном.
6. Поясните принцип работы термоэлектрических преобразователей.
7. Из каких основных элементов состоят термоэлектрические преобразователи?
8. Каким образом вводится поправка на температуру свободных концов термопары?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ О НОРМАЛЬНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ

Цель работы: получение навыков статистической обработки результатов многократных равноточных измерений и проверка гипотезы о нормальном распределении с использованием критерия Пирсона.

Краткие теоретические сведения

Ряд распределения – это упорядоченное распределение единиц совокупности (массива) на группы по какому-либо одному признаку.

При этом признак может быть, как количественным, тогда ряд называется вариационным, так и качественным, тогда ряд называют атрибутивным. Признаки, применяемые при построении рядов распределения, могут быть весьма разнообразными. Выбор необходимого признака определяется задачей статистического исследования.

Любой ряд распределения характеризуется двумя элементами:

- варианта – это отдельное значение признака единиц выборочной совокупности. Для вариационного ряда варианта принимает числовые значения, для атрибутивного ряда – качественные значения;

- частота – число, показывающее, сколько раз встречается то или иное значение признака. Если частота выражена относительным числом (т.е. долей элементов совокупности, соответствующих данному значению варианты, в общем объёме совокупности), то она называется относительной частотой.

Вариационный ряд может быть:

- дискретным, когда изучаемый признак характеризуется определённым числом (как правило целым).

- интервальным, когда определены границы «от» и «до» для непрерывно варьируемого признака. Интервальный ряд строит если множество значений дискретно варьируемого признака велико.

Интервальный ряд может строиться как с интервалами равной длины, тогда он называется равноинтервальным рядом, так и с неодинаковыми интервалами, если это диктуется условиями статистического исследования. Если цель исследования не определяет способ построения интервального ряда, то строится равноинтервальный ряд.

Закон распределения – это соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайной величины (единиц совокупности) и соответствующими им вероятностями. Основные законы следующие: биномиальный; Пуассона; геометрический; гипергеометрический; показательный равномерный; нормальный.

Любое распределение выборки экспериментальных данных (массива) соответствует той или иной аналитической модели закона распределения. Для оценки их близости применяются критерии согласия.

Во многих практических задачах точный закон распределения неизвестен, то есть является гипотезой, которая требует статистической проверки. Наибольшее распространение в настоящее время получил критерий Пирсона. Его достоинством является универсальность: с его помощью можно проверять гипотезы о различных законах распределения. Идея этого метода состоит в контроле отклонений гистограммы экспериментальных данных от гистограммы с таким же числом интервалов, построенной на основе распределения, совпадение с которым определяется.

Описание термостата ТЖ-ТС-01

Термостат жидкостный ТЖ-ТС-01 предназначен для точного поддержания температуры как в собственной ванне, так и во внешних системах с замкнутым или открытым контуром, в диапазоне температур от 30 до 100 °С.

Основные сферы применения термостата: термостатирование лабораторных реакторов, измерительных ячеек рефрактометров, вискозиметров, электрохимических анализаторов; испытания материалов; определение физико-химических свойств веществ и т.д.

Общий вид термостата представлен на рисунке 4.1. Поддержание заданной температуры реализуется с помощью нагрева термостатируемой рабочей жидкости (теплоносителя) нагревательным элементом, встроенным в блок терморегулирования (БТ).

Для установки, отображения и поддержания температуры служит микропроцессорный терморегулятор. Нагнетающе-всасывающий насос обеспечивает циркуляцию теплоносителя внутри встроенной ванны и по внешнему контуру при его подключении.

Основные технические характеристики термостата ТЖ-ТС-01 приведены в табл. 4.1.



Рис. 4.1. Общий вид термостата ТЖ-ТС-01:
1 – блок терморегулирования; 2 – ванна; 3 – крышка ванны

Таблица 4.1

Основные технические характеристики термостата

Параметр	Значение
Температурный диапазон, °С	от +30 до +100
Точность поддержания температуры, °С	±0,1
Погрешность установления заданной температуры, °С, не более	±0,2
Мощность нагревателя, Вт	1900
Максимальная производительность насоса, л/мин	7,5
Объем ванны, л	16
Рабочая жидкость	вода, водно-глицириновая смесь
Габаритные размеры, мм	355x335x420
Масса, кг	11,5

Использование термостата

Порядок работы с термостатом включает следующие пункты:


1. Подготовка прибора к работе.


Установить заглушки, входящие в комплектацию прибора, на патрубки блока терморегулирования для отключения внешнего контура

Заполнить ванну термостата рабочим веществом (термостатируемой жидкостью) – дистиллированной водой до указанной отметки.







2. Включение прибора.



Включить сетевой выключатель на блоке терморегулирования. Включение блока сопровождается прерывистым звуковым сигналом, при этом на дисплее отображается сообщение «Start». Затем на дисплее высвечивается текущая температура в ванне, и прибор начинает автоматический нагрев рабочего вещества до заданной температуры, которая была сохранена в памяти при последнем сеансе работы.

При нажатии клавиши  на дисплее блока прибор переходит в ждущий (дежурный) режим, при этом выключаются нагреватель и двигатель, на индикаторе отображается сообщение «OFF».

Для перевода прибора в работу из дежурного режима необходимо нажать клавишу . При этом происходит запуск прибора.

3. Установка заданной температуры.

Для установки заданной температуры нажмите клавишу . На дисплее появится ранее заданная температура и начнёт мигать младший разряд числа. Для изменения заданной температуры необходимо выбрать нужный разряд клавишами  и , затем изменить значение цифры разряда клавишами  и . Повторным нажатием на клавишу  завершается ввод температуры.

Для просмотра заданной температуры можно воспользоваться комбинацией клавиш  и .




4. Выход прибора на стационарный режим работы.

По достижении заданной температуры рабочего вещества нагреватель прибора отключается.

5. Отключение прибора.

После проведения экспериментов выключить прибор и слить рабочее вещество.

ВНИМАНИЕ! Три светодиодных индикатора на дисплее блока терморегулирования сигнализируют о следующих событиях:

- индикатор  – недостаток жидкости в ванне;
- индикатор  – включение нагревательного элемента;
- индикатор  – перегрев и/или выключение насоса.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с термостатом жидкостным ТЖ-ТС-01, принципом его работы и порядком работы с ним.

2. Подготовить термостат к работе.

Заполнить ванну термостата рабочим веществом – дистиллированной водой. На дисплее задать температуру воды 60 °С.

3. Дождаться установления стационарного режима работы термостата.

4. Через одно из отверстий в крышке ванны погрузить в воду измерительный зонд ЗПГ 150 термометра контактного цифрового ТК-5.06.

5. Произвести 100 измерений температуры воды с промежутком 15-20 секунд.

Результаты измерений занести в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Результаты измерений

№ измерения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...
$t, ^\circ\text{C}$											

6. Открыть таблицы Excel на персональном компьютере.

7. Ввести полученные данные (измеренные температуры) из таблицы 4.2 в виде массива размером 10x10 (A1:J10).

8. Определить объём массива N . Для этого в пустую ячейку ввести формулу =СЧЁТ(A1:J10), где A1 – первая ячейка массива, J10 – последняя ячейка массива.

Отметим, что для того, чтобы ввести в формулу нужный диапазон, обязательно вводить его значение с клавиатуры, достаточно его выделить.

9. Определить минимальное значение температуры T_{\min} в массиве. Для этого в пустую ячейку ввести формулу =МИН(A1:J10).

10. Определить максимальное значение температуры T_{\max} в массиве. Для этого в пустую ячейку ввести формулу =МАКС(A1:J10).

11. В пустой ячейке задать количество интервалов K для массива. Принять $K = 7$.

12. В пустой ячейке вычислить длину интервала D по формуле

$$D = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{K}. \quad (4.1)$$

ВНИМАНИЕ! Для фиксации в формуле значения из конкретной ячейки необходимо ввести перед цифрой и буквой, обозначающей номер ячейки, знак «\$». Например, для фиксации ячейки B16 необходимо изменить её номер на \$B\$16.

Пример расчёта в Excel представлен на рисунке 4.2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	50,2	50,1	48,9	51	51,1	50,1	50	49	51,1	51		
2	50,5	50,6	49,6	49,8	50,2	50,4	50,5	49,7	49,9	50,1		
3	49,3	49,3	50,2	49,5	50	49,2	49,2	50,3	49,6	49,9		
4	49	49,2	50,3	49,2	49,5	48,9	49,1	50,4	49,3	49,4		
5	49,9	50,2	51	50,2	49,3	49,8	50,1	51,1	50,3	49,2		
6	50,8	49,9	49,5	50,6	50,2	50,7	49,8	49,6	50,7	50,1		
7	50,5	49,8	50,2	50,1	49,8	50,4	49,7	50,3	50,2	49,7		
8	49,5	49,1	51	50,6	49,5	49,4	49	51,1	50,7	49,4		
9	49,6	50,2	49,3	49,6	50,3	49,5	50,1	49,4	49,7	50,2		
10	51	51,1	50,6	49,3	50,7	50,9	51	50,7	49,4	50,6		
11												
12	N	100		№	T _{imin}	T _{imax}	T _{icp}	n _i	F _{imin}	F _{imax}	pi	χ ² _i
13	T _{min}	48,9		1	48,9000	49,2143	49,0571	12	0,0364	0,0994	0,0630	5,1629
14	T _{max}	51,1		2	49,2143	49,5286	49,3714	17	0,0994	0,2188	0,1194	2,1418
15	K	7		3	49,5286	49,8429	49,6857	14	0,2188	0,3946	0,1758	0,7279
16	D	0,3143		4	49,8429	50,1571	50,0000	13	0,3946	0,5954	0,2008	2,4962
17				5	50,1571	50,4714	50,3143	18	0,5954	0,7734	0,1781	0,0021
18				6	50,4714	50,7857	50,6286	13	0,7734	0,8960	0,1225	0,0453
19				7	50,7857	51,1000	50,9429	13	0,8960	0,9615	0,0655	6,3624
20				Σ				100			0,9250	16,9387
21												
22				T _{cp}	50,008		χ ² _{крит}	9,48773				
23				S	0,6177							

Рис. 4.2. Пример расчёта в Excel

13. Вычислить нижнюю $T_{i\min}$ и верхнюю $T_{i\max}$ границы каждого интервала, а также среднее значение температуры на интервале \bar{T}_i .

14. Определить частоту попадания измеренных значений температуры из массива в каждый интервал, т.е. количество наблюдений n_i . Для этого необходимо выполнить следующие операции:

- выделить 7 пустых ячеек, соответствующих интервалам;

- ввести формулу =ЧАСТОТА(массив_данных; массив_интервалов). В качестве массива данных ввести все значения массива, т.е. A1:J10. В качестве массива интервалов ввести все верхние границы интервалов $T_{i\max}$;

- завершить введение функции нажатием на клавиатуре сочетания клавиш CTRL+SHIFT+ENTER.

- проверить корректность расчёта вычислив суммарное количество наблюдений $\sum n_i$, которое должно быть равно 100.

15. Определить среднее значение температуры \bar{T} в массиве. Для этого в пустую ячейку ввести формулу =СРЗНАЧ(A1:J10).

16. Определить среднеквадратичное отклонение S . Для этого в пустую ячейку ввести формулу =СТАНДОТКЛОН.В(A1:J10).

17. Вычислить интегральную функцию распределения на границах интервалов $F_{i\min}$ и $F_{i\max}$. Для этого воспользуемся встроенной формулой Excel =НОРМ.РАСП(x;среднее;стандартное_откл;интегральная). Здесь «среднее» равно \bar{T} ; «стандартное_откл» равно S ; «интегральная» равна 1.

Для вычисления вероятности того, что значение температуры окажется меньше нижней границы заданного интервала $F_{i\min} = F(T < T_{i\min})$ в качестве «х» необходимо принять нижнюю границу соответствующего интервала $T_{i\min}$.

Для вычисления вероятности того, что значение температуры окажется меньше верхней границы заданного интервала $F_{i\max} = F(T < T_{i\max})$ в качестве «х» необходимо принять верхнюю границу соответствующего интервала $T_{i\max}$.

18. Вычислить вероятность попадания значения температуры в заданный интервал p_i в Excel по формуле

$$p_i = F_{i\max} - F_{i\min}. \quad (4.2)$$

19. Вычислить суммарную вероятность $\sum p_i$ как сумму вероятностей каждого интервала.

20. Вычислить значения составляющих критерия Пирсона χ_i^2 для каждого интервала по формуле

$$\chi_i^2 = \frac{(n_i - N \cdot p_i)^2}{N \cdot p_i}. \quad (4.3)$$

21. Вычислить критерий Пирсона χ^2 (хи-квадрат) как сумму критериев Пирсона каждого интервала.

22. Результаты вычислений занести в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Результаты вычислений

№ интервала	Границы интервалов		\bar{T}_i	n_i	Интегральная функция		p_i	χ_i^2
	$T_{i\min}$	$T_{i\max}$			$F_{i\min}$	$F_{i\max}$		
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
				$\sum n_i$			$\sum p_i$	χ^2

23. Определить критическое значение критерия Пирсона $\chi^2_{\text{крит}}$.

Для вычисления $\chi^2_{\text{крит}}$ воспользуемся встроенной формулой Excel =ХИ2.ОБР(вероятность;степени_свободы). В качестве параметра «вероятность» необходимо ввести значение доверительной вероятности P , равное 0,95. Параметр «степени_свободы» вычисляется по формуле

$$k = K - q - 1, \quad (4.4)$$

где K – количество интервалов; q – количество определённых параметров (среднее значение и среднеквадратичное отклонение).

24. Проверить выполнение условия $\chi^2 \leq \chi^2_{\text{крит}}$. Если условие выполняется, то полученный массив температур подчиняется нормальному закону распределения, если не выполняется, то не подчиняется.

Отчёт по лабораторной работе

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Определения «ряд распределения», «варианта», «частота», «дискретный ряд», «интервальный ряд», «закон распределения».
3. Таблица 4.2 – Результаты измерений.
4. Таблица 4.3 – Результаты вычислений.
5. График зависимости $p_i = f(\bar{T}_i)$.
6. Выводы по лабораторной работе. Одни должны содержать проверку условия по пункту 24 порядка выполнения работы.

Контрольные вопросы

1. Что означает «ряд распределения»?
2. Как классифицируются ряды распределения по признакам?
3. Чем характеризуется любой ряд распределения?
4. Что такое дискретный и интервальный ряд?
5. Дайте определение закона распределения.
6. Перечислите наиболее часто встречающиеся законы распределения.
7. Поясните назначение критерия Пирсона.
8. Является ли закон распределения значений температуры из полученного массива нормальным?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. – Введ. 2015–01–01. – М.: Стандартиформ, 2014. – 60 с.
2. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. – Введ. 2013–01–01. – М.: Стандартиформ, 2013. – 24 с.
3. ГОСТ Р 50779.22-2005 (ИСО 2602:1980) Статистические методы. Статистическое представление данных. Точечная оценка и доверительный интервал для среднего. – Введ. 2005–07–01. – М.: Стандартиформ, 2005. – 12 с.
4. Пономарев С.В. Метрология, стандартизация, сертификация: учебник для вузов / С.В. Пономарев, Г.В. Шишкина, Г.В. Мозгова. – Тамбов: Издательство ТГТУ, 2010. – 96 с.
5. Метрология, стандартизация и сертификация в энергетике: учеб. пособие для студ. сред. проф. образования / С.А. Зайцев, А.Н. Толстов, Д.Д. Грибанов, Р.В. Меркулов. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 224 с.
6. Назаров В.И. Теплотехнические измерения и приборы. Лабораторный практикум: учеб. пособие / В.И. Назаров, А.Л. Буров, Е.Н. Криксина. – Минск: Выш. шк., 2012. – 131 с.
7. Третьяк Л.Н. Обработка результатов наблюдений: учеб. пособие / Л.Н. Третьяк. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 171 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ.....	4
Лабораторная работа № 1. Определение абсолютных, относительных и приведённых погрешностей средств измерений.....	6
Лабораторная работа № 2. Обработка результатов многократных равноточных прямых измерений.....	15
Лабораторная работа № 3. Градуировка и поверка термоэлектрических преобразователей.....	23
Лабораторная работа № 4. Определение закона распределения результатов измерений.....	31
Библиографический список.....	39

МЕТРОЛОГИЯ

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
для студентов направления 13.03.01
«Теплоэнергетика и теплотехника»
(профиль «Промышленная теплоэнергетика»)

Составитель:
Надеев Александр Александрович

В авторской редакции

Подписано в печать 25.01.2021.
Формат 60×84 1/16. Усл. изд. л. 1,6.
Тираж 60 экз. Зак. №

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

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