

**ВУЗ**

студентам  
учреждений  
высшего  
образования

В.И. Назаров, А.Л. Буров, Е.Н. Криксина

# Теплотехнические измерения и приборы

Лабораторный практикум



В.И. Назаров, А.Л. Буров, Е.Н. Криксина

# Теплотехнические измерения и приборы

---

Лабораторный практикум

*Допущено  
Министерством образования  
Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия  
для студентов учреждений высшего образования  
по специальностям «Паротурбинные установки  
атомных электрических станций»,  
«Промышленная теплоэнергетика»,  
«Тепловые электрические станции»,  
«Автоматизация и управление энергетическими  
процессами»*



Минск  
«Вышэйшая школа»  
2012

УДК [536+621.18].08(075.8)

ББК 31.32я73

Н19

Рецензенты: кафедра энергофизики учреждения образования «Белорусский государственный университет» (доцент кафедры *Н.А. Карбалевич*); заведующий кафедрой «Энергоснабжение» учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» кандидат технических наук *Н.Е. Шевчик*

*Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства*

### **Назаров, В. И.**

Н19   Теплотехнические измерения и приборы. Лабораторный практикум : учеб. пособие / В. И. Назаров, А. Л. Буров, Е. Н. Криксина. – Минск : Выш. шк., 2012. – 131 с.: ил. ISBN 978-985-06-2146-7.

Представлены работы по изучению принципа действия, конструкции и методов поверки приборов, измеряющих температуру, давление, расходы, уровень и состав газов на тепловых и атомных электрических станциях и промышленных предприятиях для контроля и автоматизации тепловых процессов.

Для студентов специальностей «Тепловые электрические станции», «Паротурбинные установки атомных электрических станций», «Промышленная теплоэнергетика», «Автоматизация и управление энергетическими процессами», а также для изучающих курсы «Теплотехнические измерения и приборы», «Теплотехнические измерения и основы автоматического регулирования» и «Электрические и теплотехнические измерения».

УДК [536+621.18].08(075.8)

ББК 31.32я73

ISBN 978-985-06-2146-7

© Назаров В.И., Буров Л.А.,  
Криксина Е.Н., 2012  
© Издательство «Вышэйшая  
школа», 2012

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Технологические процессы, происходящие в современных теплоэнергетических объектах, требуют контроля большого количества параметров. Без достоверных значений параметров и автоматического контроля этих значений нельзя управлять технологическими и теплоэнергетическими процессами и агрегатами, без средств измерения невозможна их автоматизация. Особенно большое значение приобретают вопросы обеспечения высокой достоверности измеряемых параметров в связи с задачами комплексной автоматизации теплоэнергетических процессов.

В учебном пособии приведены лабораторные работы по всем разделам курса «Теплотехнические измерения и приборы». Материал изложен в соответствии со структурой учебной программы читаемого курса и предусматривает знание основных принципов, методов и наиболее распространенных средств, применяемых для измерения теплотехнических параметров.

Лабораторный практикум предназначен для студентов вузов специальностей «Тепловые электрические станции», «Паротурбинные установки атомных электрических станций», «Промышленная теплоэнергетика» и «Автоматизация и управление энергетическими процессами». Он необходим при изучении курса «Теплотехнические измерения и приборы», а также курсов «Теплотехнические измерения и основы автоматического регулирования», «Электротехнические и теплотехнические измерения», «Автоматизированные системы управления на ТЭС», «Автоматизация водоподготовки и водно-химических режимов».

Авторы глубоко признательны за советы и ценные критические замечания по содержанию пособия рецензенту доценту кафедры энергофизики Белорусского государственного университета Н.А. Карбалевич.

*Авторы*

# ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

## 1. Общие требования безопасности

- 1.1. К выполнению работ в лаборатории допускаются сотрудники кафедры, прошедшие инструктаж по охране труда и имеющие квалификационную группу по электробезопасности не ниже второй.
- 1.2. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж по охране труда у преподавателя, ведущего занятия, о чем должна быть сделана запись в журнале инструктажа по ТБ.
- 1.3. 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.
- 1.4. Помещение лаборатории по степени опасности поражения электрическим током относится к категории повышенной опасности.
- 1.5. Источником опасности является электрический ток напряжением 220 В. Все электрооборудование должно иметь надежное защитное заземление.
- 1.6. Для исключения травмирования выполняйте следующие правила:
  - делайте только ту работу, которая входит в ваши обязанности;
  - пользуйтесь только исправными приборами, инструментами, приспособлениями;
  - работу производите на заранее подготовленном и исправном рабочем месте;
  - не загромождайте проходы около своего рабочего места.
- 1.7. При выполнении работ в помещении лаборатории должно находиться не менее двух человек.
- 1.8. В случае травмирования, обнаружения неисправности оборудования сообщите руководителю работ. При получении травмы товарищем окажите ему доврачебную помощь и сообщите руководителю.

- 1.9. Каждый работающий обязан уметь оказывать первую (доврачебную) помощь пострадавшему человеку.
- 1.10. За невыполнение правил техники безопасности виноватые несут ответственность в соответствии с действующим законодательством.

## **2. Требования безопасности перед началом работы**

- 2.1. Подготовить рабочее место к работе, для чего:
  - убрать все посторонние предметы;
  - проверить заземление, электрическую проводку, наличие и исправность приборов (вольтметры, амперметры, манометры, указатели высоты столба жидкости и т.д.).
- 2.2. Методом визуального осмотра проверить исправность применяемого в данной работе оборудования, а также приспособлений, защитных ограждений, местного освещения, состояния проводов, кабелей.
- 2.3. Включение цепи под напряжение разрешается только после ее проверки преподавателем или лаборантом. Изменение электрической схемы должно проводиться при ее отключении и только с разрешения преподавателя или лаборанта.
- 2.4. Выполнение работы начинать только с разрешения преподавателя или лаборанта.

## **3. Требования безопасности при выполнении работы**

- 3.1. Поддерживать на рабочем месте чистоту и порядок.
  - 3.2. Во время работы контролировать параметры технологических процессов:
    - напряжение;
    - силу тока;
    - давление в элементах гидравлической установки;
    - высоту столба жидкости.
- Не допускать превышения (уменьшения) параметров сверх предельных значений.
- 3.3. Во избежание травмирования не допускается:
    - осуществлять ремонт оборудования, находящегося под напряжением;
    - производить переключения в схемах, не предусмотренные экспериментом;

- оставлять оборудование в рабочем состоянии без присмотра;
  - загромождать лабораторные столы и проходы;
  - оставлять вещи на включенном оборудовании;
  - отвлекаться и отвлекать товарищей посторонними разговорами и делами.
- 3.4. Если при проведении работы возникло какое-либо повреждение (появился специфический запах, дым, накаляются проводники) или кто-нибудь попал под напряжение, немедленно снять напряжение со схемы и оказать помощь пострадавшему. Всякая растерянность и промедление в этих условиях может усилить поражение людей и повреждение элементов схемы.

#### **4. Требования безопасности в аварийных ситуациях**

- 4.1. При выполнении работ возможны следующие ситуации, которые могут привести к аварии или несчастному случаю:
- нарушение ограждения и попадание работающего по неосторожности за приборный щит;
  - утечка воды и попадание ее на электрические приборы и провода вследствие появления негерметичности трубопровода или деталей системы, заполненной водой;
  - нарушение изоляции электрических устройств.
- 4.2. В случае возникновения угрозы для жизни людей, аварий с оборудованием или пожара необходимо произвести отключение оборудования и сообщить руководителю.
- 4.3. При поражении электрическим током принять меры по освобождению пострадавшего от тока, оказать первую медицинскую помощь, вызвать врача, сообщить о случившемся администрации.

#### **5. Требования безопасности по окончании работы**

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

# ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ, СРЕДСТВАХ ИЗМЕРЕНИЙ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ

## ПОНЯТИЕ ОБ ИЗМЕРЕНИИ

Если  $y$  – измеряемая величина,  $x$  – единица измерения, а  $c$  – числовое значение измеряемой величины в принятой системе единиц, то результатом измерения величины  $y$  является уравнение измерения

$$y = cx. \quad (1)$$

**Измерение** – процесс получения опытным путем числового соотношения между измеряемой величиной и некоторым значением, принятым за единицу сравнения.

По способу получения числового значения искомой величины измерения можно разделить на два вида:

- 1) прямые;
- 2) косвенные.

К **прямым измерениям** относятся те, результаты которых получаются непосредственно из опытных данных. При этом значение искомой величины получается либо путем непосредственного сравнения ее с мерами, либо с помощью измерительных приборов, градуированных в соответствующих единицах.

При прямых измерениях результат выражается непосредственно в тех же единицах, что и измеряемая величина:

$$y = z, \quad (2)$$

где  $z$  – результат непосредственного измерения. Например, измерение длины осуществляется метром, температуры – термометром, давления – манометром.

К **косвенным измерениям** относятся те, результаты которых получаются на основании прямых измерений нескольких других величин, связанных с искомой величиной определенной зависимостью.

В общем виде искомая величина  $y$  может быть определена некоторой функциональной зависимостью



$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \quad (3)$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – значения величин, измеряемых прямым способом, например определение расхода газа по перепаду давления на сужающем устройстве, температуре и давлению.

Косвенные измерения применяются в технике и научных исследованиях в тех случаях, когда искомую величину невозможно или сложно измерить непосредственно путем прямого измерения или когда косвенное измерение позволяет получить более точные результаты. В зависимости от назначения и требований, предъявляемых к их точности, измерения делятся на лабораторные и технические.

Под **принципом измерения** понимается совокупность физических явлений, на которых основаны измерения.

Под **методом измерений** понимается совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

## ПОНЯТИЯ О СРЕДСТВАХ ИЗМЕРЕНИЯ

**Средствами измерений** называют технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические характеристики.

Основными видами средств измерений являются меры, измерительные приборы и преобразователи.

**Мера** – средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. Например, гиря есть мера массы.

**Измерительным прибором** называют средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Измерительные приборы бывают аналоговые и цифровые, показывающие и самопишущие.

**Измерительным преобразователем** называют средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки, но не поддающееся непосредственному восприятию наблюдателем. Измерительные преобразователи бывают первичные, промежуточные, передающие и т.д.

# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

## ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины, называется **точностью измерения**.

**Погрешность измерения** – отклонение результата измерения, т.е. величины, найденной путем ее измерения, от истинного значения измеряемой физической величины.

Под истинным значением физической величины понимают такое ее значение, которое идеальным образом отразило бы в количественном и качественном отношениях соответствующее свойство объекта измерения.

Погрешность измерения вызывается несовершенством средств измерений, непостоянством условий наблюдения и субъективными ошибками наблюдателя. На практике вместо истинного значения приближенно принимают действительное значение (находится экспериментально). Погрешности показаний средств измерений принято делить на абсолютные, относительные или приведенные.

**Абсолютная погрешность** измерительного прибора ( $\Delta y$ ) определяется разностью между показанием прибора и действительным значением измеряемой величины:

$$\Delta y = y_n - y, \quad (4)$$

где  $y_n$  – показания прибора;  $y$  – действительное значение измеряемой величины.

**Относительная погрешность** измерительного прибора ( $\varepsilon$ ) определяется отношением абсолютной погрешности измерительного прибора к действительному значению физической величины:

$$\varepsilon = \frac{\Delta y}{y}. \quad (5)$$

**Приведенная погрешность** измерительного прибора ( $\delta$ ) определяется отношением абсолютной погрешности измерительного прибора к нормирующему значению:

$$\delta = \frac{\Delta y}{y_n} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где  $y_n$  – нормирующее значение.

Нормирующее значение принимается равным:

– для средств измерений с односторонней шкалой – по верхнему пределу измерений;

– для средств измерений с двухсторонней шкалой – арифметической сумме модулей верхнего и нижнего пределов измерений;

– для средств измерений с безнулевой шкалой – разности верхнего и нижнего пределов, т.е. диапазону измерений.

Погрешности средств измерений принято разделять на основные и дополнительные.

**Основной погрешностью** средства измерений называется его погрешность при использовании в нормальных условиях. Под пределом допускаемой основной погрешности понимают наибольшую (без учета знака) основную погрешность средства измерений, при которой оно может быть признано годным и допущено к применению.

Под нормальными условиями применения средств измерений понимают условия, при которых величины, называемые влияющими (температура воздуха, влажность, атмосферное давление и т.д.), имеют нормальные значения или находятся в пределах нормальной области значений. В качестве нормальных значений или нормальной области значений влияющих величин принимают следующие:  $t_{\text{окруж.воздуха}} = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $P_{\text{атм}} = 101,3\text{ кПа}$ ; относительную влажность – 60%.

**Дополнительной** называют погрешность, возникающую при отклонении влияющих величин за пределы, установленные для нормальных их значений.

**Класс точности** средства измерений является обобщенной его характеристикой, определяемой пределами допускаемых основной и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерений. Чаще всего класс точности (К) принимают численно равным допускаемой приведенной основной погрешности, выражаемой в процентах:

$$K = \frac{\Delta y}{y_n} \cdot 100\% = \delta. \quad (7)$$

Класс точности выбирается из ряда  $1 \times 10^n$ ;  $1,5 \times 10^n$ ;  $2 \times 10^n$ ;  $2,5 \times 10^n$ ;  $4 \times 10^n$ ;  $5 \times 10^n$ ;  $6 \times 10^n$ , где  $n = 1; 0; -1; -2$  и т.д.

Погрешности измерения в зависимости от характера причин, вызывающих их появление, принято разделять на случайные, систематические и грубые.

Под **случайной погрешностью** понимают погрешность измерения, изменяющуюся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. Она может быть количественно определена с помощью теории вероятностей.

Под **систематической погрешностью** понимают погрешность измерения, остающуюся постоянной или закономерно изменяющуюся при повторных измерениях одной и той же величины. Если систематическая погрешность известна, то она может быть исключена путем внесения *поправки*. Поправка равна абсолютной погрешности, взятой с обратным знаком.

Под **грубой погрешностью** понимается погрешность измерения, существенно превышающая ожидаемую при данных условиях. Причина грубой погрешности – ошибки наблюдателя или неисправности устройств измерения.

**Вариация показаний** ( $V$ ) – наибольшая полученная экспериментально разность между повторными показаниями прибора при увеличении значения и при его уменьшении в одной и той же точке шкалы.

$$V = \frac{y_6 - y_m}{y_n} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где  $y_6$  – значение показаний прибора при повышении величины;  $y_m$  – значение показаний прибора при понижении измеряемой величины.

Причинами вариаций показаний в приборах являются люфты, трение и т.д.

**Чувствительность** средства измерения ( $S$ ) – отношение изменения сигнала на выходе  $\Delta y$  к вызывающему его изменению измеряемой величины  $\Delta x$ , т.е.:

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} \text{ – для прибора с линейной характеристикой;}$$

$$S = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta y}{\Delta x} \right| = \frac{dy}{dx} \text{ – для прибора с нелинейной характеристикой.}$$

**Порог чувствительности** прибора – наименьшее изменение измеряемой величины, способное вызвать перемещение указателя.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
Правила техники безопасности .....	4
Общие сведения об измерениях, средствах измерений и метрологических характеристиках .....	7
Лабораторная работа № 1. <b>Изучение принципа действия и конструкции термоэлектрических термометров</b> .....	18
Лабораторная работа № 2. <b>Поверка термоэлектрических термометров</b> .....	26
Лабораторная работа № 3. <b>Изучение принципа действия, кон- струкции и поверки термометров сопротивления</b> .....	29
Лабораторная работа № 4. <b>Изучение принципа действия, устройства и поверки нормирующего преобразователя</b> .....	39
Лабораторная работа № 5. <b>Изучение принципа действия и конструкции логометра</b> .....	43
Лабораторная работа № 6. <b>Изучение принципа действия, устройства и поверки деформационных и тензометрических манометров</b> .....	50
Лабораторная работа № 7. <b>Определение коэффициента расхода диафрагмы</b> .....	59
Лабораторная работа № 8. <b>Изучение конструкции и принципа действия электрохимических газоанализаторов на твердом электролите</b> .....	67
Лабораторная работа № 9. <b>Изучение конструкции и принципа действия термодиффузионных газоанализаторов</b> .....	73
Лабораторная работа № 10. <b>Изучение принципа действия дифференциально-трансформаторной системы передачи информации</b> .....	77
Лабораторная работа № 11. <b>Определение динамических свойств датчиков температуры</b> .....	81

Лабораторная работа № 12. Изучение принципа действия токовой системы передачи информации .....	87
Лабораторная работа № 13. Изучение принципа действия преобразователя теплового потока .....	94
Лабораторная работа № 14. Измерение теплового потока через тепловую изоляцию трубопровода .....	98
Лабораторная работа № 15. Изучение принципа действия инфракрасного бесконтактного термометра .....	103
Лабораторная работа № 16. Изучение принципа действия и конструкции влагомера твердых и сыпучих тел .....	111
Контрольные вопросы к лабораторным работам .....	114
Приложение .....	122
Литература .....	129

Учебное издание

**Назаров** Владимир Иванович  
**Буров** Андрей Леонидович  
**Криксина** Екатерина Николаевна

**ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ.  
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Учебное пособие

Редактор *Е.В. Савицкая*  
Художественный редактор *Т.В. Шабунько*  
Технический редактор *А.Н. Бабенкова*  
Корректор *Е.В. Савицкая*  
Компьютерная верстка *А.Н. Бабенковой*

Подписано в печать 11.09.2012. Формат 84×108/32. Бумага офсетная.  
Гарнитура «Times New Roman». Офсетная печать. Усл. печ. л. 6,93.  
Уч.-изд. л. 6,55. Тираж 400 экз. Заказ 2068.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”».  
ЛИ № 02330/0494062 от 03.02.2009. Пр. Победителей, 11, 220048, Минск.  
<http://vshph.com> e-mail: [info@vshph.com](mailto:info@vshph.com)

Филиал № 1 открытого акционерного общества «Красная звезда».  
ЛП № 02330/0494160 от 03.04.2009. Ул. Советская, 80, 225409, Барановичи.