

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. Крикшина. – 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.,
Крикшина 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 (Δy) 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 (ε) определяется отношением абсолютной погрешности измерительного прибора к действительному значению физической величины:

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

Приведенная погрешность измерительного прибора (δ) 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 1×10^n ; $1,5 \times 10^n$; 2×10^n ; $2,5 \times 10^n$; 4×10^n ; 5×10^n ; 6×10^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 Δy к вызывающему его изменению измеряемой величины Δx , 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. Изучение принципа действия и конструкции термоэлектрических термометров	18
Лабораторная работа № 2. Поверка термоэлектрических термометров	26
Лабораторная работа № 3. Изучение принципа действия, кон- струкции и поверки термометров сопротивления	29
Лабораторная работа № 4. Изучение принципа действия, устройства и поверки нормирующего преобразователя	39
Лабораторная работа № 5. Изучение принципа действия и конструкции логометра	43
Лабораторная работа № 6. Изучение принципа действия, устройства и поверки деформационных и тензометрических манометров	50
Лабораторная работа № 7. Определение коэффициента расхода диафрагмы	59
Лабораторная работа № 8. Изучение конструкции и принципа действия электрохимических газоанализаторов на твердом электролите	67
Лабораторная работа № 9. Изучение конструкции и принципа действия термохимических газоанализаторов	73
Лабораторная работа № 10. Изучение принципа действия дифференциально-трансформаторной системы передачи информации	77
Лабораторная работа № 11. Определение динамических свойств датчиков температуры	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

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