

А.Ф. Бродников

Н.А. Вихарева

В.Я. Черепанов

ИЗМЕРЕНИЯ И ЭТАЛОНЫ ТЕПЛОВЫХ ВЕЛИЧИН



Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии

**Новосибирский филиал
федерального государственного автономного образовательного
учреждения дополнительного профессионального образования
«АКАДЕМИЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И
СЕРТИФИКАЦИИ (учебная)»**

А.Ф. БРОДНИКОВ, Н.А. ВИХАРЕВА, В.Я. ЧЕРЕПАНОВ

ИЗМЕРЕНИЯ И ЭТАЛОНЫ ТЕПЛОВЫХ ВЕЛИЧИН

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

**Новосибирск
2017**

УДК 536.6 (075.8)
ББК 31.32 я73
Б88

Бродников А.Ф., Вихарева Н.А., Черепанов В.Я.

Измерения и эталоны тепловых величин. Новосибирск: Новосибирский филиал АСМС, 2017. – 178 с.

ISBN 978-5-94301-686-8

В учебном пособии рассмотрены основные методы и средства измерений, используемые в термометрии, калориметрии, а также при измерениях параметров теплообмена и при учёте тепла в системах теплоснабжения. Значительная часть материала пособия посвящена эталонам тепловых величин и, прежде всего, первичным эталонам, которые являются основой метрологического обеспечения и отражают научно-технический уровень и предельную точность этих измерений. Кроме этого, рассмотрены поверочные схемы, устанавливающие порядок передачи единиц величин от эталонов средствам измерений, обеспечивая прослеживаемость измерений и их результатов.

Пособие написано на основе курсов лекций и практических занятий, читаемых и проводимых авторами для слушателей Новосибирского филиала Академии стандартизации, метрологии и сертификации, повышающих квалификацию по специализации «Поверка и калибровка средств теплотехнических измерений», а также для студентов специальности «Метрология и метрологическое обеспечение» Сибирского государственного университета геосистем и технологий.

Материал пособия может быть также полезен специалистам в области метрологического обеспечения и эксплуатации средств теплотехнических измерений, а также студентам теплоэнергетических и приборостроительных специальностей различных учебных заведений.

Авторы: канд. техн. наук, доцент *Бродников Александр Фёдорович*;
канд. техн. наук, с.н.с. *Вихарева Надежда Анатольевна*;
д-р техн. наук, профессор *Черепанов Виктор Яковлевич*

Рецензенты: д-р техн. наук, ученый секретарь ФГУП «СНИИМ»,
профессор Новосибирского филиала АСМС
Пальчун Юрий Анатольевич;
д-р техн. наук, профессор Новосибирского филиала АСМС
Данилевич Сергей Борисович

УДК 536.6 (075.8)
ББК 31.32 я73

ISBN 978-5-94301-686-8

© А.Ф.Бродников, Н.А. Вихарева, В.Я. Черепанов, 2017
© Новосибирский филиал АСМС, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ: ИЗМЕРЕНИЯ И ЭТАЛОНЫ.....	5
1. ТЕРМОМЕТРИЯ	9
1.1. Основы термометрии	9
1.2. Температурные шкалы и единицы температуры.....	13
1.3. Международная температурная шкала.....	22
1.4. Контактные средства измерений температуры.....	25
1.5. Радиационная термометрия.....	45
1.6. Эталоны и поверочная схема для средств термометрии.....	49
2. ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООБМЕНА	68
2.1. Общие сведения о параметрах теплообмена	68
2.2. Измерения плотности теплового потока	70
2.3. Воспроизведение и передача единицы поверхностной плотности теплового потока.....	74
2.4. Измерения и эталоны теплопроводности	85
2.5. Измерения коэффициента теплообмена.....	91
2.6. Методы и средства измерений коэффициента черноты	93
2.7. Установка эталонного назначения и компаратор для обеспечения единства измерений коэффициента черноты	100
3. КАЛОРИМЕТРИЯ	110
3.1. Измерения количества теплоты и теплоёмкости.....	110
3.2. Измерения энергии сгорания твёрдых органических веществ	111

3.3. Измерения энергии сгорания газов.....	115
3.4. Государственная поверочная схема для средств измерений энергии сгорания, удельной энергии сгорания и объёмной энергии сгорания	119
3.5. Воспроизведение единицы количества теплоты растворения и реакций.....	122
3.6. Измерения и эталоны удельной теплоёмкости.....	124
4. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ УЧЁТЕ ТЕПЛА В СИСТЕМАХ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ	136
4.1. Модель системы водяного отопления	136
4.2. Средства измерений тепловой мощности и энергии в системах водяного отопления	138
4.3. Устройство теплосчётчиков и требования к их основным характеристикам	141
4.4. Средства измерений и эталоны расхода жидкости	145
4.5. Метрологическое обеспечение средств измерений расхода.....	151
4.6. Средства измерений и эталоны давления	160
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	174

ВВЕДЕНИЕ: ИЗМЕРЕНИЯ И ЭТАЛОНЫ

Великому русскому учёному, сибиряку, семнадцатому ребёнку в семье, открывателю периодической системы химических элементов и основателю отечественной научной метрологии Дмитрию Ивановичу Менделееву принадлежат слова: «Метрология – это наука о точных измерениях, приводящих к эталонам». Целью настоящего учебного пособия является ознакомление слушателей Академии, а также начинающих метрологов-теплотехников с основами измерений и с эталонами тепловых величин. Измерения этих величин обеспечивают получение объективной и достоверной информации о всех процессах и явлениях, связанных с переносом теплоты, повсеместно и непрерывно происходящих в окружающей нас природе.

Измерения – это совокупность операций по определению значения физической величины с помощью специальных технических средств. Эти технические средства называют средствами измерений. Значением физической величины является совокупность числа, определяющего её количественную характеристику, и обозначением единицы, которая использована при измерениях этой величины. Например, значение температуры кипения воды при нормальном давлении, равное 99,974 °С, содержит число (99,974) и единицу измерений температуры (°С).

Единицу физической величины воспроизводят эталоны различного уровня. В России самые главные (исходные для всей страны) эталоны называют государственными **первичными** эталонами. Они воспроизводят единицу величины с наивысшей в стране точностью и передают её вторичным эталонам, а затем последовательно – рабочим разрядным эталонам и средствам измерений, применяемым в различных отраслях экономики, в социальной сфере и оборонном комплексе страны. В настоящее время эталонная база страны насчитывает около 160 государственных первичных эталонов единиц величин и около 60 тыс. подчиненных им вторичных и разрядных эталонов, сведения о которых содержатся в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений. Перечень показателей точности эталонов определяет ГОСТ 8.381 «ГСИ. Эталоны. Способы выражения точности».

Высокий уровень развития эталонной базы России подтверждается положительными результатами сличений государственных первичных эталонов с международными эталонами и национальными эталонами

А. Ф.Бродников
Н. А. Вихарева
В. Я. Черепанов

ИЗМЕРЕНИЯ И ЭТАЛОНЫ ТЕПЛОВЫХ ВЕЛИЧИН

Учебное пособие

*Редактор О.Н. Груздкова
Корректор Т.Н. Дорохова
Компьютерная верстка Д.В. Протасова*

Подписано в печать 30.11.2017.
Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Тираж 300 экз.
Уч.-изд. л. 9,93 Усл. печ. л. 10,34 Печать офсетная.
Заказ № 1130/2017
Отпечатано в типографии ООО Издательство «Сибпринт»
630099, г. Новосибирск, ул. М. Горького, д. 39
по заказу Новосибирского филиала АСМС

Новосибирский филиал АСМС
Новосибирск, ул. Революции, 36