

А В Т О Р Ы

О. А. ГЕРАЩЕНКО, А. Н. ГОРДОВ, А. К. ЕРЕМИНА, В. И. ЛАХ, Я. Т. ЛУЩИК,
В. И. ПУЦЫЛО, Б. И. СТАДНЫЙ, Н. А. ЯРЫШЕВ

УДК 536.5 (430.1)

Температурные измерения Справочник / Геращенко О. А., Гордов А. Н., Еремина А. К. и др.; Отв. ред. Геращенко О. А.; АН УССР. Ин-т проблем энергосбережения.— Киев : Наук. думка, 1989.— 704 с.— ISBN 5-12-000490-3.

Справочник содержит полную информацию о современных средствах измерения температуры применительно к различным областям науки и технологии. Приведены сведения об апробированных в эксплуатации термометрических средствах с учетом использования стандартных и нестандартных материалов и изделий, выпускаемых в нашей стране и за рубежом. Даны метрологические основы термометрии, доведенные до конкретных определений погрешностей. Во втором издании расширена номенклатура термометрических явлений и современных методов и средств измерений.

Для инженеров, научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов технических, физико-технических и других специальностей. Ил. 270. Табл. 182. Библиогр.: с. 618—696 (1667 назв.).

Ответственный редактор

член-корреспондент АН УССР *О. А. Геращенко*

Печатается по постановлению ученого совета

Института проблем энергосбережения АН УССР

и решению редакционной коллегии справочной литературы АН УССР

Редакция справочной литературы

Заведующий редакцией *В. В. Панюков*

Редактор *А. С. Слыщенко*

Т 2203030000-442 559-89
М221(04)-89

ISBN 5-12-000490-3

© Издательство «Наукова думка», 1984

© Институт проблем энергосбережения
АН УССР, изменения, дополнения, 1989

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Основные сокращения и условные обозначения	9
Глава 1. История развития термометрии	11
Глава 2. Физические основы температурных измерений	17
2.1. Температурные шкалы	17
2.2. Термодинамическая температура	18
2.3. Газовые термометры	19
2.4. Термодинамическая температурная шкала	21
2.5. Тепловое излучение	22
2.6. Эффект Джозефсона	22
2.7. Ядерные квадрупольные резонансные термометры	23
2.8. Ядерные магнитные резонансные термометры	24
2.9. Магнитные термометры	25
2.10. Емкостные термометры	26
2.11. Магнитогидродинамический метод измерения температуры	26
2.12. Магнитооптические термометры	26
2.13. Ядерно-ориентационные термометры	26
2.14. Термометры, основанные на эффекте Мёссбауэра	27
2.15. Тепловизоры	28
2.16. Обзор других приборов для температурных измерений	29
Глава 3. Международная практическая температурная шкала	31
3.1. Основные положения	31
3.2. Определение Международной практической температурной шкалы 1968 г.	32
3.3. Дополнительные сведения	39
3.4. Вторичные реперные точки	42
3.5. Практические температурные шкалы для определения температур ниже 13,81 К	45
3.6. Аппаратура для воспроизведения и хранения МПТШ	46
3.7. Система обеспечения единства измерений температуры	56
Глава 4. Погрешности измерения температуры жидкостей и газов	59
4.1. Классификация погрешностей средств измерения температуры	59
4.2. Источники методических погрешностей ИПТ	61
4.3. Математические модели и характеристики теплообмена ИПТ и исследуемых объектов	63

А В Т О Р Ы

О. А. ГЕРАЩЕНКО, А. Н. ГОРДОВ, А. К. ЕРЕМИНА, В. И. ЛАХ, Я. Т. ЛУЩИК,
В. И. ПУЦЫЛО, Б. И. СТАДНЫЙ, Н. А. ЯРЫШЕВ

УДК 536.5 (430.1)

Температурные измерения Справочник / Геращенко О. А., Гордов А. Н., Еремина А. К. и др.; Отв. ред. Геращенко О. А.; АН УССР. Ин-т проблем энергосбережения. — Киев : Наук. думка, 1989. — 704 с. — ISBN 5-12-000490-3.

Справочник содержит полную информацию о современных средствах измерения температуры применительно к различным областям науки и технологии. Приведены сведения об апробированных в эксплуатации термометрических средствах с учетом использования стандартных и нестандартных материалов и изделий, выпускаемых в нашей стране и за рубежом. Даны метрологические основы термометрии, доведенные до конкретных определений погрешностей. Во втором издании расширена номенклатура термометрических явлений и современных методов и средств измерений.

Для инженеров, научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов технических, физико-технических и других специальностей. Ил. 270. Табл. 182. Библиогр.: с. 618—696 (1667 назв.).

Ответственный редактор

член-корреспондент АН УССР *О. А. Геращенко*

Печатается по постановлению ученого совета

Института проблем энергосбережения АН УССР

и решению редакционной коллегии справочной литературы АН УССР

Редакция справочной литературы

Заведующий редакцией *В. В. Панюков*

Редактор *А. С. Слыщенко*

Т 2203030000-442 559-89
М221(04)-89

ISBN 5-12-000490-3

© Издательство «Наукова думка», 1984

© Институт проблем энергосбережения
АН УССР, изменения, дополнения, 1989

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Основные сокращения и условные обозначения	9
Глава 1. История развития термометрии	11
Глава 2. Физические основы температурных измерений	17
2.1. Температурные шкалы	17
2.2. Термодинамическая температура	18
2.3. Газовые термометры	19
2.4. Термодинамическая температурная шкала	21
2.5. Тепловое излучение	22
2.6. Эффект Джозефсона	22
2.7. Ядерные квадрупольные резонансные термометры	23
2.8. Ядерные магнитные резонансные термометры	24
2.9. Магнитные термометры	25
2.10. Емкостные термометры	26
2.11. Магнитогидродинамический метод измерения температуры	26
2.12. Магнитооптические термометры	26
2.13. Ядерно-ориентационные термометры	26
2.14. Термометры, основанные на эффекте Мёссбауэра	27
2.15. Тепловизоры	28
2.16. Обзор других приборов для температурных измерений	29
Глава 3. Международная практическая температурная шкала	31
3.1. Основные положения	31
3.2. Определение Международной практической температурной шкалы 1968 г.	32
3.3. Дополнительные сведения	39
3.4. Вторичные реперные точки	42
3.5. Практические температурные шкалы для определения температур ниже 13,81 К	45
3.6. Аппаратура для воспроизведения и хранения МПТШ	46
3.7. Система обеспечения единства измерений температуры	56
Глава 4. Погрешности измерения температуры жидкостей и газов	59
4.1. Классификация погрешностей средств измерения температуры	59
4.2. Источники методических погрешностей ИПТ	61
4.3. Математические модели и характеристики теплообмена ИПТ и исследуемых объектов	63

4.4. Методические погрешности однородных ИПТ	66
4.5. Оценка влияния различных факторов на точность измерения температуры	70
4.6. Динамические характеристики ИПТ	73
4.7. Оценка случайной составляющей методической погрешности	78
Глава 5. Методические погрешности измерения температуры поверхности и внутри тела	81
5.1. Погрешности измерения температуры внутри тела	81
5.2. Измерение внутренних температур ИПТ стержневого типа	83
5.3. Измерение температуры поверхности тела при внешнем расположении ИПТ	84
5.4. Измерение температуры поверхности массивных объектов ИПТ малой толщины	90
5.5. Измерение температуры поверхности стенок плоскими (пластинчатыми) ИПТ	95
5.6. Измерение температуры поверхности при расположении ИПТ внутри тела	99
5.7. Пространственно-временное восстановление температуры по ограниченному числу результатов измерений	103
5.8. Измерение температуры поверхности полупрозрачных объектов плоскими ИПТ	104
Глава 6. Жидкостно-стеклянные термометры	107
6.1. Термометрические стекла	107
6.2. Термометрические жидкости для ЖСТ	109
6.3. Шкалы, чувствительность, погрешности	111
6.4. Практические особенности измерений ЖСТ	112
6.5. ЖСТ специального назначения	114
6.6. Серийные ЖСТ, выпускаемые промышленностью	140
Глава 7. Манометрические термометры	147
7.1. Принцип действия, классификация и устройство	147
7.2. Температурные диапазоны работы манометрических термометров	148
7.3. Погрешности манометрических термометров и способы их уменьшения	150
7.4. Характеристики промышленных манометрических термометров	152
Глава 8. Термопреобразователи сопротивления	155
8.1. Платиновые ТС	155
8.2. ТС с чувствительными элементами из других материалов	163
8.3. Инструментальная погрешность и срок службы ТС с учетом реального циклического режима	166
8.4. Промышленные ТС	168
8.5. Полупроводниковые ТС	169
8.6. ТС с унифицированным выходным сигналом	204
8.7. Номинальные статические характеристики преобразования ТС	229
Глава 9. Термоэлектрические преобразователи	230
9.1. Термоэлектрические явления. Термопары	230
9.2. Основные правила обращения с термоэлектрическими цепями	235

9.3. Стабильность характеристик термоэлектродов	237
9.4. Токи утечки	248
9.5. Термоэлектродные удлинительные провода и кабели	248
9.6. Электроизоляционные материалы	258
9.7. Термопары для измерения низких температур	262
9.8. Термопары для измерения средних и высоких температур	288
9.9. Термопары из тугоплавких металлов и их сплавов	326
9.10. Защита термопар	345
9.11. Современные средства измерения температур на основе термопар	358
Глава 10. Ультразвуковые термометры	397
10.1. Особенности контактных и бесконтактных термометров. Методы построения резонансных и импульсных термометров	403
10.2. Способы возбуждения и регистрации ультразвуковых сигналов и их передачи в зону измерения температуры	411
10.3. Чувствительные элементы ультразвуковых термометров	420
Глава 11. Шумовые термометры	421
11.1. Методы измерения температуры шумовыми термометрами и структурные схемы термометров	424
Глава 12. Температурные индикаторы	431
12.1. Плавкие металлические вставки	431
12.2. Термочувствительные краски	431
12.3. Облученные кристаллы	445
Глава 13. Пирометры	447
13.1. Тепловое излучение	447
13.2. Физические законы излучения	447
13.3. Практические следствия законов излучения	452
13.4. Погрешности пирометров излучения	465
13.5. Оптические пирометры с исчезающей нитью	477
13.6. Агрегатный комплекс стационарных пирометрических преобразователей	484
13.7. Пирометры частичного излучения переносные	510
Глава 14. Вторичные электрические приборы для измерения температуры	512
14.1. Классификация и конструкции ВП	513
14.2. Вторичные электрические приборы для работы в комплекте с термометром сопротивления	514
14.3. Вторичные электрические приборы для работы в комплекте с термоэлектрическим преобразователем	557
14.4. Приборы для измерения унифицированных сигналов	569
14.5. Цифровые приборы	578
14.6. Обеспечение помехоустойчивости измерений температуры	593
14.7. Проверка ВП	597
Глава 15. Измерение температур пламен	604
15.1. Общие сведения о характере излучения пламен	604
15.2. Особенности применения контактных методов для измерения температур пламен	606

15.3. Метод обращения спектральных линий	606
15.4. Метод лучеиспускания и поглощения	609
15.5. Метод абсолютной интенсивности спектральной линии	610
15.6. Метод относительных интенсивностей спектральных линий	611
15.7. Определение температуры по доплеровскому уширению спектральных линий	613
15.8. Определение «вращательной» температуры	613
15.9. Определение «колебательной» температуры	614
15.10. Метод яркостной температуры	614
15.11. Метод цветовой температуры	615
Список литературы	617
Принятые сокращения	617
Дополнение	697
Предметный указатель	702

ПРЕДИСЛОВИЕ

С ускорением темпов НТР роль первичных источников информации становится все более значимой. К ним, безусловно, относятся средства измерений во всем их многообразии. Непрерывная интенсификация технологических процессов, направленная на повышение качества продукции и снижение трудовых затрат, сокращение энергоемкости производства, удовлетворение растущих требований экологии на фоне общего роста народонаселения — все это делает неизбежным значительное повышение общей культуры производства и жизнедеятельности. Благоприятно сопутствующим фактором в решении актуальных задач развития общества является дальнейшее развитие и успешное внедрение автоматических систем измерения, контроля и управления технологическими процессами на основе эффективной последовательной переработки первичной информации современными кибернетическими устройствами с использованием микропроцессоров и ЭВМ.

Температура играет важную роль в повседневной жизни, в познании природы, исследовании новых явлений, а ее единица — кельвин — является одной из семи основных единиц, на которых основана Международная система единиц (СИ). Согласно статистическим данным около 40 % всех измерений приходится на температурные. В некоторых отраслях народного хозяйства эта доля значительно выше. Так, в энергетике температурные измерения составляют до 70 % общего количества измерений. Особое значение имеет температура при контроле, автоматизации и управлении технологическими процессами. Точность соблюдения температурного режима часто определяет не только качество, но и принципиальные возможности применения продукции в определенных целях, например при выращивании полупроводниковых монокристаллов. В современных условиях технологические требования к точности поддержания температуры находятся на уровне высших метрологических достижений.

Основу справочника составляет информация о термометрических средствах, серийно выпускаемых промышленностью СССР, а также о некоторых приборах зарубежных фирм. Эта информация систематизирована в виде таблиц, содержащих общие физико-технические и эксплуатационные характеристики термометров в самом широком понимании. Попутно приведены сведения об аппаратурных свойствах, не поддающихся табличной систематизации.

Справочной информации предшествуют краткие сведения по истории развития термометрических понятий и становления методов и средств измерения, физическим основам термометрических явлений и способам их реализации, температурным шкалам и метрологическим характеристикам средств измерения, систематическим и случайным погрешностям температурных измерений. Дальнейшее изложение связано с реализацией конкретных методов контактной и бесконтактной термометрии. Описание термометров, выпускаемых промышленностью, сопровождается рекоменда-