

**В. Г. Лисиенко, Е. М. Шлеймович,
М. Г. Ладыгичев, С. П. Санников, Я. М. Щелоков**

ТЕМПЕРАТУРА

ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА, ЭКСПЕРИМЕНТ

Том 1

Книга 1

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Лисиенко В.Г., Шлеймович Е.М., Ладыгичев М.Г.,
Санников С.П., Щелоков Я.М.

ТЕМПЕРАТУРА: ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА, ЭКСПЕРИМЕНТ

СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ В 3-х ТОМАХ

Том 1.
Книга 1

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Под редакцией
действительного члена АИН им. А.М. Прохорова
В.Г. Лисиенко



«Теплотехник»
Москва, 2010

УДК 662.9(083)

ББК 31.391

Б43

Б43 Лисиенко В.Г., Шлеймович Е.М., Ладыгичев М.Г., Санников С.П., Щелоков Я.М. **Температура: теория, практика, эксперимент: Справочное издание: В 3-х томах. Т. 1, кн. 1. Методы контроля температуры / Под ред. В.Г. Лисиенко.** – М.: Теплотехник, 2010. – 549 с.

В трехтомном Справочном издании представлены материалы и информация о методах контроля и измерения температур (том 1), о методах и средствах температурного контроля в ряде отраслей промышленности и энергетике (том 2) и об измерениях температур в теплотехнических исследованиях (том 3).

В первом томе Справочного издания приведены данные о постановке самих методов измерения и контроля температур в различных средах: твердых, жидких, газообразных и в пламени. Приведена краткая история развития термометрии и основные положения по температурным измерениям, классификации методов и средств контроля температуры и погрешностях измерений. Подробно рассмотрен весь современный арсенал технических средств температурного контроля (термометры расширения, сопротивления, термоэлектрические, индикаторные, излучения, термографические). Особое внимание в связи с универсальностью использования уделено бесконтактной термометрии. Подробно рассмотрены особенности измерения температур различных сред. Приведены данные о вторичных приборах для измерения температур. Данное Справочное издание представляет интерес для широкого круга научно-исследовательских, проектных организаций и предприятий, а также может быть полезно студентам и аспирантам вузов.

Ил. 178. Табл. 91. Библиогр. список: 167 назв.

Работа представлена в авторской редакции

ISBN 978-5-98457-080-0 (2-й 3-д)

© Лисиенко В.Г. и др.

© «Теплотехник», 2010 г.

Оглавление

Предисловие	6
Введение	10
Глава 1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ТЕРМОМЕТРИИ.....	13
1.1. Список литературы к главе 1.....	35
Глава 2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕРМОМЕТРИИ.....	36
2.1. Понятие температуры.....	36
2.2. Единицы температуры. Температурные шкалы.....	39
2.3. Газовые термометры.....	41
2.4. Термодинамическая температурная шкала.....	46
2.5. Международная практическая температурная шкала.....	50
2.6. Аппаратура для воспроизведения и хранения МТШ.....	58
2.7. Обеспечение единства измерения температур.....	70
2.8. Список литературы к главе 2.....	83
Глава 3. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР	85
3.1. Классификация методов и средств контроля температуры	85
3.2. Неопределенности измерений в термометрии	91
3.3. Список литературы к главе 3.....	115
Глава 4. ТЕРМОМЕТРИЯ РАСШИРЕНИЯ	116
4.1. Основные положения	116
4.2. Классификация термометров расширения	120
4.3. Дилатометрические термометры.....	125
4.4. Биметаллические термометры.....	130
4.5. Жидкостно-стеклянные термометры.....	133
4.5.1. Промышленные стеклянные жидкостные термометры.....	134
4.5.2. Лабораторные и специальные стеклянные жидкостные термометры.....	149
4.5.3. Термометрические материалы жидкостных стеклянных термометров ..	167
4.6. Манометрические термометры	171
4.7. Инструментальные погрешности термометров расширения	181
4.7.1. Поправка на температуру выступающего столбика ЖСТ.....	181
4.7.2. Методические и инструментальные погрешности манометрических термометров.....	184
4.8. Список литературы к главе 4.....	186
Глава 5. РЕЗИСТИВНАЯ ТЕРМОМЕТРИЯ.....	188
5.1. Основные положения	190
5.1.1. Классификация термопреобразователей сопротивления	193
5.1.2. Сравнительные характеристики различных термопреобразователей сопротивления	195
5.2. Металлические термометры сопротивления.....	197
5.2.1. Платиновые термопреобразователи сопротивления	200
5.2.2. Медные термопреобразователи сопротивления	204
5.2.3. Термопреобразователи сопротивления из других чистых материалов и сплавов	206
5.3. Полупроводниковые термометры сопротивления	208
5.3.1. Термисторы	211
5.3.2. Позисторы	214

5.3.3. Кремниевые и интегральные полупроводниковые термометры сопротивления.....	215
5.3.4. Специфика использования полупроводниковых термометров сопротивления.....	216
5.4. Конструкции термометров сопротивления.....	217
5.4.1. Металлические термопреобразователи сопротивления погружаемые....	218
5.4.2. Основные виды погружаемых металлических термопреобразователей сопротивления.....	236
5.4.3. Металлические термопреобразователи сопротивления поверхностные.....	240
5.4.4. Криогенные металлические термопреобразователи сопротивления.....	246
5.4.5. Металлические термопреобразователи сопротивления для измерения температуры пищевых продуктов и воздуха в помещении.....	247
5.4.6. Полупроводниковые термопреобразователи сопротивления.....	248
5.5. Измерение электрического сопротивления в термометрии.....	260
5.5.1. Электрические измерительные схемы включения термосопротивления.....	261
5.5.2. Токовые схемы включения термосопротивления в электронных устройствах.....	264
5.5.3. Мостовые схемы включения термосопротивления в электронных устройствах.....	272
5.5.4. Схемы коррекции погрешности ПТСН от нелинейности.....	275
5.6. Инструментальные погрешности термометров сопротивления.....	281
5.6.1. Оценка погрешности измерения температуры с использованием термопреобразователей сопротивления.....	282
5.6.2. Проверка термопреобразователей сопротивления.....	286
5.7. Список литературы к главе 5.....	293
Глава 6. ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТЕРМОМЕТРИЯ.....	294
6.1. Термоэлектрические явления. Термопары.....	295
6.2. Законы термоэлектрических цепей.....	303
6.3. Стабильность характеристик термоэлектродов.....	310
6.4. Типы термопар для измерения низких, средних и высоких температур.....	314
6.5. Стабильность и защита высокотемпературных термопар.....	328
6.6. Поправка на температуру свободных концов. Удлинительные (компенсационные) провода. Устройство унификации.....	336
6.7. Конструкции термоэлектрических преобразователей.....	341
6.8. Источники погрешностей измерения термоэлектрическими термометрами.....	349
6.9. Влияние на термоэлектрические термометры внешних воздействий (давления, электромагнитных полей, ионизирующих излучений).....	355
6.10. Измерение температуры поверхностей.....	363
6.11. Список литературы к главе 6.....	366
Глава 7. МЕТОДЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОВЕРКИ КОНТАКТНЫХ ТЕРМОМЕТРОВ.....	370
7.1. Основные методы градуировки и проверки.....	371
7.1.1. Основные положения проверки, калибровки и градуировки.....	371
7.1.2. Основные правила проведения проверки и калибровки.....	375

7.1.3. Методы поверки (калибровки) и поверочные схемы	377
7.1.4. Поверочные схемы	378
7.2. Реперные точки для градуировки термометров	382
7.2.1. Реперные точки	382
7.2.2. Калибраторы температуры и стенды для поверки термометров	388
7.3. Градуировка по образцовому термометру в термостатах и печах	393
7.3.1. Термостаты для калибровки термометров	394
7.3.2. Печи для калибровки термометров, использующие образцовый термометр	399
7.3.3. Эталоны и образцовые термометры	404
7.4. Список литературы к главе 7	415
Глава 8. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИНДИКАТОРЫ	417
8.1. Термочувствительные краски и карандаши	417
8.2. Модифицированные кристаллы	426
8.3. Плавкие вставки	428
8.4. Конусы Зегера	429
8.5. Список литературы к главе 8	430
Приложение 1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ МЕТРОЛОГИИ	432
Приложение 2. СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ ШКАЛАМИ	483
Приложение 3. ТЕРМОПАРЫ. НОМИНАЛЬНЫЕ СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ	487
Приложение 4. ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	502
Приложение 5. ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА «ТЕХНОРМАТИВ». ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА «РДОЕИ»	512
Приложение 6. О ПОРЯДКЕ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕПЛООВОГО КОНТРОЛЯ	530
Приложение 7 (справочное)	545