

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

ТЕМПЕРАТУРА

ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА, ЭКСПЕРИМЕНТ

Том 1

Книга 3

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 3

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

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



«Теплотехник»
Москва, 2009

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. 3. Методы контроля температуры / Под ред. В.Г. Лисиенко.** – М.: Теплотехник, 2009. – 537 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 специальных исследованиях (том 3).

В первом томе (в трех книгах) 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. 289. Табл. 50. Библиогр. список: 215 назв.

Работа представлена в авторской редакции

ISBN 978-5-98457-092-3

© Лисиенко В.Г. и др.
© «Теплотехник», 2009 г.

Оглавление

Глава 13. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР РАЗЛИЧНЫХ СРЕД В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ (ПОВЕРХНОСТИ, ЖИДКОСТИ, ГАЗОВЫЕ ПОТОКИ, ПРОДУКТЫ СГОРАНИЯ И ПЛАМЁНА)	7
13.1. Измерение температур твердых тел и высокотемпературных жидкостей.....	8
13.1.1. Контактные методы.....	9
13.1.2. Бесконтактные (пирометрические) методы измерения температуры поверхности.....	31
13.2. Измерение температур высокоскоростного потока газа.....	68
13.3. Температура в высокотемпературных газовых средах. Компенсация влияния излучения.....	72
13.3.1. Температура печи.....	72
13.3.2. Температура газовых потоков.....	83
13.3.3. Отсасывающие термометры (термопары).....	95
13.3.4. Ошибки при измерении температур, связанные с установкой датчика термометра.....	111
13.3.5. Метод двух и более термопар.....	113
13.3.6. Тепловая инерционность (динамика) датчиков.....	117
13.4. Определение температуры по скорости звука.....	123
13.4.1. Общие характеристические уравнения.....	123
13.4.2. Применение акустической термометрии для исследования температурных полей в топочных камерах.....	124
13.4.3. Акустический способ измерения температуры жидкости, включая расплавленные металлы.....	125
13.5. Измерение температуры пламени (факела).....	127
13.5.1. Общая характеристика пламен и методов измерения.....	127
13.5.2. Зондовая (контактная) термометрия.....	134
13.5.3. Бесконтактная (в том числе радиационная) пирометрия и комбинированные методы.....	144
13.6. Измерение температур факела в промышленных условиях.....	188
13.6.1. Сравнительные прямые оценки температур факела пирометрами излучения.....	190
13.6.2. Метод излучения–поглощения определения температуры и поглощательной способности факела.....	190
13.6.3. Фотографирование и скоростная киносъемка факелов. Оптическая плотность негатива.....	199
13.6.4. Комбинированная акустико-аэродинамическая защита объективов приборов теплового контроля (линз пирометров излучения).....	201

13.7. Измерение тепловых потоков в рабочем пространстве энерготехнологических установок и в камерах сгорания.....	204
13.7.1. Характер тепловых потоков и связь с температурой	204
13.7.2. Основные методы измерения тепловых потоков. Калориметры	207
13.8. Список литературы к главе 13	232
Глава 14. ИЗМЕРЕНИЕ КРИОГЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР	240
14.1. Вторичные термометры	242
14.1.1. Металлические термометры сопротивления	242
14.1.2. Полупроводниковые термометры	244
14.1.3. Углеродные термометры сопротивления	248
14.1.4. Термопары	249
14.2. Влияние магнитных полей на криогенные термометры	250
14.3. Список литературы к главе 14	252
Глава 15. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ	254
15.1. Термочастотные методы	254
15.1.1. Термометры с механическими резонаторами.....	255
15.1.2. Измерения температуры методом ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР)	259
15.2. Термощумовой метод.....	261
15.3. Терромагнитный метод.....	265
15.4. Емкостные и индуктивные термометры	268
15.5. Термометры на основе диодов и транзисторов	270
15.6. Измерение температуры с использованием флуоресцентных датчиков.....	277
15.7. Список литературы к главе 15	280
Глава 16. ТЕРМОГРАФИЯ (ТЕПЛОВИДЕНИЕ).....	282
16.1. Термография как метод теплового контроля и диагностики	282
16.1.1. Историческая справка	282
16.1.2. Физическая сущность и процедуры теплового контроля (ТК) ..	283
16.1.3. Термография как метод технической диагностики.....	285
16.1.4. Терминология ТК. Критерии дефектности в неразрушающем контроле	288
16.1.5. Особенности ТК и направления исследования	290
16.2. Особенности теоретического решения задач теплового контроля ...	291
16.2.1. Математические модели задач ТК и методы их анализа	291
16.2.2. Упрощения математической модели. Правила принятия решения	295
16.2.3. Роль коэффициента излучения в термографии	297
16.2.4. Коэффициент излучения объектов с неплоской поверхностью	298
16.3. Приборы для термографии.....	299

16.3.1. Контактные средства.....	299
16.3.2. Тепловизоры.....	303
16.3.3. Метрологическое обеспечение средств ТК.....	312
16.4. Тепловизионная диагностика.....	318
16.4.1. Общие данные.....	318
16.4.2. Контроль электротехнических установок.....	320
16.4.3. О температурном режиме подземных теплотрасс.....	326
16.4.4. Тепловизионное обследование ограждающих конструкций зданий.....	328
16.4.5. Экономическая эффективность инфракрасной диагностики оборудования.....	333
16.5. Сокращения, использованные в главе 16.....	336
16.6. Список литературы к главе 16.....	337
Глава 17. ВТОРИЧНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ.....	342
17.1. Классификация вторичных приборов систем контроля температуры.....	345
17.2. Вторичные приборы для работы с термометрами сопротивления.....	360
17.3. Вторичные приборы для работы с термоэлектрическими термометрами.....	378
17.4. Вторичные приборы для работы с пирометрами излучения.....	389
17.5. Приборы для обработки, преобразования и передачи сигналов термометров (АДАМ, цифровые приборы, ПК и др.).....	398
17.5.1. Нормирующие преобразователи с токовым выходом для термопары.....	400
17.5.2. Нормирующие преобразователи с токовым выходом для термосопротивления.....	403
17.5.3. Основные элементы вторичных приборов.....	411
17.6. Обеспечение помехоустойчивости измерений температуры.....	439
17.6.1. Классификация источников измерительных сигналов и помех.....	445
17.6.2. Классификация типов входов устройств.....	453
17.6.3. Принципиальная совместимость входов устройств вторичных приборов и источников сигнала.....	460
17.6.4. Общие способы помехозащищённости.....	461
17.6.5. Типовые примеры подключения приборов.....	469
17.6.6. Искробезопасность – защита вторичных приборов и цепей от высоковольтных импульсных напряжений.....	479
17.7. Проверка и эксплуатация вторичных приборов.....	487
17.7.1. Основные положения техники измерений.....	487
17.7.2. Проверка вторичных приборов с помощью имитаторов значений сопротивления измеряемой величины.....	490

17.7.3. Проверка вторичных приборов с помощью имитаторов значений постоянного тока э.д.с. и напряжения измеряемой величины.....	511
17.7.4. Автоматизированные интеллектуальные поверочные установки.....	528
17.8. Список литературы к главе 17.....	533
Заключение.....	536