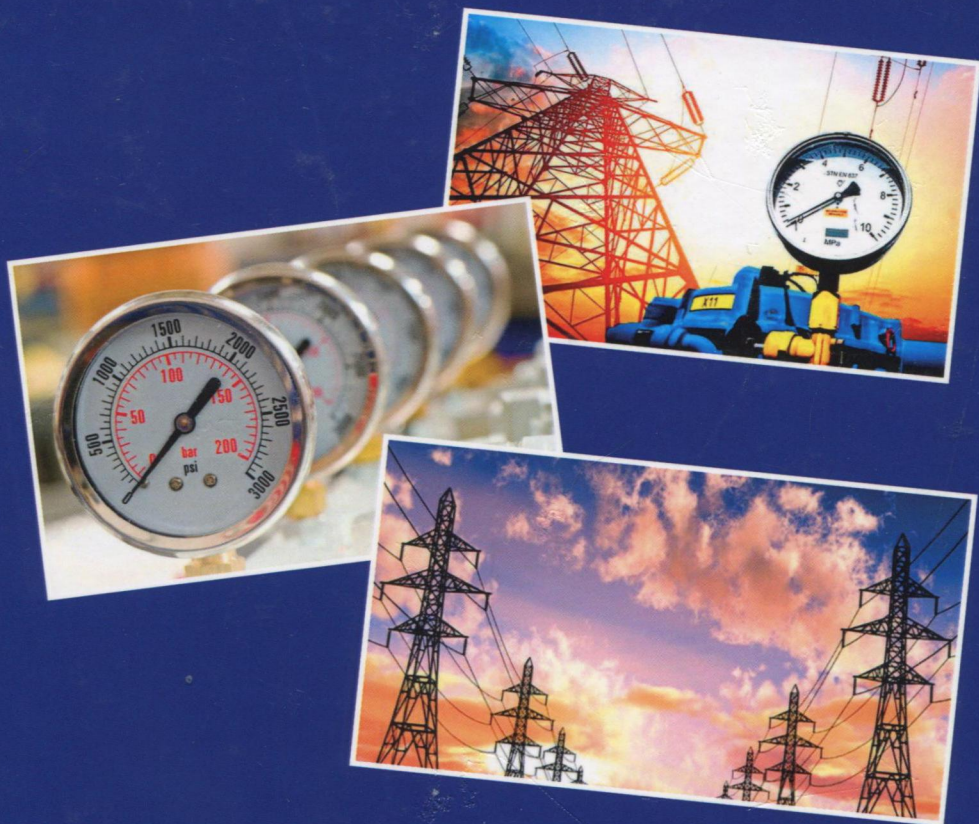


В. П. Иванников



# ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

**В. П. Иванников**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ  
В ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

Учебное пособие

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2022

УДК 621.311.22:681.5

ББК 31.32

И18

Рецензент:

доктор технических наук, профессор Ижевского государственного  
технического университета им. М. Т. Калашникова

*Щенятский Алексей Валерьевич*

**Иванников, В. П.**

**И18** Технические измерения и автоматизация в тепло- и электроэнергетике : учебное пособие / В. П. Иванников. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 296 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-9729-1042-7

Рассмотрены базовые понятия теоретической метрологии, принципы построения и вопросы создания измерительных систем и автоматизации измерений и управления процессами в теплоэнергетике. Приведены общие сведения о процедурах метрологического обеспечения и способах оценки погрешностей измерений. Рассмотрены принципы действия и особенности устройства современных средств измерения температуры, давления, скорости, количества и расхода жидкостей и газов, контроля уровня, состава и свойств веществ. Анализируются структурные и конструктивные особенности развития и совершенствования современных средств и систем управления сложными объектами и процессами, влияния программного обеспечения ИИС на результаты измерений.

Для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника». Может быть полезно специалистам, занимающимся созданием, эксплуатацией и метрологическим обеспечением измерительных систем в теплоэнергетике.

УДК 621.311.22:681.5

ББК 31.32

ISBN 978-5-9729-1042-7

© Иванников В. П., 2022

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	6
<b>ГЛАВА I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ И КАЧЕСТВО ИЗМЕРЕНИЙ</b> .....	8
<b>I.1. Теоретические основы метрологии</b> .....	8
I.1.1. Физические свойства и физические величины .....	10
I.1.2. Шкалы измерений .....	12
I.1.3. Измерение и его основные операции .....	17
I.1.4. Принципы, методы и средства измерений .....	18
I.1.5. Условия измерений .....	22
<b>I.2. Классификация измерений</b> .....	23
<b>I.3. Этапы, результаты и качество измерений</b> .....	27
I.3.1. Этапы измерений .....	27
I.3.2. Результаты измерений .....	29
I.3.3. Качество измерений .....	31
<b>I.4. Случайные и систематические погрешности измерений</b> .....	32
I.4.1. Сложение случайных и систематических погрешностей .....	40
I.4.2. Обработка результатов при косвенных измерениях .....	41
I.4.3. Запись результатов измерений. Точность расчетов .....	43
I.4.4. Изображение экспериментальных результатов на графиках .....	44
I.4.5. Проведение кривых через экспериментальные точки .....	46
I.4.6. Определение искомых параметров по результатам измерений .....	48
I.4.7. Оценка погрешностей при проведении теплотехнических измерений .....	52
<b>ГЛАВА II. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН</b> .....	54
<b>II.1. Измерение температуры</b> .....	54
II.1.1. Температурные шкалы .....	54
II.1.2. Классификация средств измерения температуры .....	57
II.1.3. Термометры расширения .....	58
II.1.4. Манометрические термометры .....	65
II.1.5. Термоэлектрические термометры .....	72
II.1.6. Термопреобразователи сопротивления .....	79
II.1.7. Бесконтактные методы измерения температуры .....	90
<b>II.2. Измерение давления</b> .....	91
II.2.1. Основные понятия .....	91
II.2.2. Классификация средств измерения давления .....	95

II.2.3. Жидкостные манометры.....	99
II.2.4. Деформационные датчики давления.....	102
II.2.5. Электрические датчики давления.....	106
II.2.6. Грузопоршневой манометр.....	115
<b>II.3. Измерение количества и расхода.....</b>	<b>116</b>
II.3.1. Основные понятия, единицы измерения.....	116
II.3.2. Измерение расхода жидкости и газа.....	117
II.3.3. Расходомеры переменного перепада давления.....	124
II.3.4. Стандартные сужающие устройства.....	128
II.3.5. Расходомеры постоянного перепада давления.....	132
II.3.6. Электромагнитные расходомеры.....	133
II.3.7. Ультразвуковые расходомеры.....	137
II.3.8. Расходомеры Кориолиса.....	140
II.3.9. Вихревые и вихреакустические расходомеры.....	143
II.3.10. Калориметрические расходомеры.....	146
II.3.11. Калориметрические расходомеры.....	150
<b>II.4. Измерение уровня.....</b>	<b>153</b>
II.4.1. Основные понятия.....	153
II.4.2. Классификация приборов для измерения уровня.....	153
II.4.3. Визуальные уровнемеры.....	155
II.4.4. Поплавковые уровнемеры.....	156
II.4.5. Буйковые уровнемеры.....	157
II.4.6. Гидростатические уровнемеры.....	158
II.4.7. Электрические уровнемеры.....	163
II.4.8. Радиоизотопные уровнемеры.....	167
II.4.9. Ультразвуковые уровнемеры.....	169
II.4.10. Радарные уровнемеры.....	171
II.4.11. Волноводные уровнемеры.....	176
II.4.12. Сигнализаторы уровня.....	179

### **ГЛАВА III. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ.....**

III.1. Структура средств автоматизации.....	187
III.1. Структура средств автоматизации.....	189
III.2. Общие положения теории автоматического управления.....	190
III.2.1. Обобщенная схема системы управления.....	190
III.2.2. Анализ и синтез системы управления.....	195
III.2.3. Основные этапы управления сложным объектом.....	197
III.3. Основы теории автоматического управления (регулирования) объектами и процессами в т.....	205

<b>III.3.1. Первичные приборы для измерения параметров</b> .....	207
<b>III.3.2. Структура объектов регулирования и автоматизации в теплоэнергетике</b> .....	214
<b>III.3.3. Основные свойства теплоэнергетических объектов регулирования</b> .....	217
<b>III.4. Основные законы регулирования</b> .....	222
<b>III.4.1. Интегральный закон</b> .....	222
<b>III.4.2. Пропорциональный закон</b> .....	223
<b>III.4.3. Пропорционально-интегральный закон</b> .....	223
<b>III.4.4. Пропорционально-интегрально-дифференциальный закон</b> .....	223
<b>III.5. Структурная схема реализации аналоговой системы автоматического регулирования</b> .....	225
<b>III.6. Особенности реализации цифровых схем с программным обеспечением автоматического регулирования</b> .....	228
<b>III.6.1. Управление работой котла с помощью программно-технического комплекса (АСУ ТП)</b> .....	229
<b>ГЛАВА IV. ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ И ПРОЦЕССАМИ</b> .....	232
<b>IV.1. Возможности использования персонального компьютера</b> .....	233
<b>IV.1.1. Вычислительные ресурсы персонального компьютера</b> .....	235
<b>IV.1.2. Информационные возможности персонального компьютера</b> .....	238
<b>IV.1.3. Профессионал-непрограммист вместо программиста-профессионала</b> .....	246
<b>IV.2. Совершенствование средств и методов управления сложными объектами или процессами</b> .....	248
<b>IV.2.1. Информационно-измерительные системы</b> .....	249
<b>IV.3. Современные измерительно-вычислительные комплексы средств автоматизации производственных предприятий</b> .....	265
<b>IV.4. Основные правила составления функциональных схем автоматизации в теплоэнергетике</b> .....	271
<b>IV.4.1. Основные понятия</b> .....	272
<b>IV.2.2. Порядок составления функциональных схем в теплоэнергетике</b> ...	273
<b>IV.4.3. Условное обозначение приборов и средств автоматизации в теплоэнергетике</b> .....	274
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	276