

25-1003

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ, ТЕОРИИ ИЗМЕРЕНИЙ И ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Учебное пособие

25-01003

Санкт-Петербург  
2024

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ФАКУЛЬТЕТ УПРАВЛЕНИЯ**

**КАФЕДРА ПРОЕКТНОГО МЕНЕДЖМЕНТА И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ**

# **ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ, ТЕОРИИ ИЗМЕРЕНИЙ И ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

**Учебное пособие**

*Под редакцией  
доктора экономических наук, профессора  
К.А. Соловейчика*

**ИЗДАТЕЛЬСТВО  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ЭКОНОМИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
2024**

**ББК 30.10**  
**ГРНТИ 90.01**  
**О75**

**О75** Основы метрологии, теории измерений и технического регулирования : учебное пособие / Соловейчик К.А. [и др.] ; под ред. д-ра экон. наук, проф. К.А. Соловейчика. – СПб. : Изд-во СПбГЭУ, 2024. – 486 с. – EDN : NPXNOO.

ISBN 978-5-7310-6342-5

В учебном пособии раскрыты роль и значение метрологии, процессов измерений и технического регулирования в системе естественных наук. Рассмотрены вопросы теоретических основ метрологии, обеспечения единства измерений, универсальных средств и способов измерений, вопросы планирования эксперимента. Метрология и процессы измерений являются научной и методологической основой обеспечения единства измерений, обеспечения международного научно-технического сотрудничества, которое определяется техническим регулированием развития экономики страны.

Предназначено для студентов высших учебных заведений по направлению подготовки бакалавров 27.03.02 – «Управление качеством». Теоретические и методические материалы могут быть полезны для студентов и аспирантов других специальностей и направлений подготовки.

**ББК 30.10**  
**ГРНТИ 90.01**

**Авторский коллектив:** К.А. Соловейчик, А.И. Федотов, С.К. Лисин, В.К. Дмитриев, Н.А. Рагозина, И.Д. Летюхин, М.И. Кирсанова, Е.П. Бородина

**Рецензенты:** д-р экон. наук, проф. **П.А. Аркин**  
канд. экон. наук, доц. **В.А. Левенцов**

ISBN 978-5-7310-6342-5

© СПбГЭУ, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ. Роль метрологии в развитии всеобщей экономики.....	7
1. МЕТРОЛОГИЯ.....	11
1.1. Физические величины, размерности, измерительные шкалы, методы сравнения .....	11
1.2. Общепринятые характеристики измеряемых величин .....	15
1.3. Шкалы оцениваемых и измеряемых величин .....	19
1.4. Международная система единиц физических величин .....	21
1.5. Методы сравнения неизвестных размеров .....	26
1.6. Статистически зависимые измерения .....	30
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ .....	33
2.1. Виды условий измерений, теоретические и эмпирические характеристики .....	33
2.1.1. Основное уравнение измерения.....	34
2.1.2. Формы представления результата измерения.....	36
Цифровые измерительные приборы.....	36
Аналоговые измерительные приборы .....	37
2.1.3. Представление результата измерения в соответствии со второй аксиомой метрологии .....	55
2.1.4. Приближенные математические модели результатов косвенных измерений .....	57
2.2. Количественные соотношения процедур измерений. Обратная задача теории измерений.....	60
2.2.1. Градуировка шкалы отсчетного устройства .....	61
2.2.2. Определение значения измеряемой величины по результату измерения .....	64
2.2.3. Неопределенность измерений. Количественные оценки неопределенностей типа $A$ и $B$ .....	67
2.3. Однократное измерение.....	70
2.3.1. Идентичность априорной информации .....	70
2.3.2. Процедура анализа при однократном измерении .....	71
2.3.3. Нормирование результатов классами точности средств измерений .....	76
2.3.4. Зависимость уровня доверия $P$ от коэффициента охвата $k$ равномерного закона распределения вероятности .....	81
2.3.5. Внесение поправок в результаты измерений .....	85
2.3.6. Расчет параметров модели экспоненциальной формы .....	88
2.3.7. Распределение дискретной случайной величины .....	94
2.3.8. Неопределенность дискретной случайной величины .....	98
2.4. Многократное измерение .....	100

2.4.1. Модели выполнения измерительных процедур .....	100
2.4.2. Измерение с равноточным отсчетом .....	104
2.4.3. Обнаружение и исключение ошибок. Правило трех сигм.....	105
2.4.4. Проверка соответствия распределения вероятности результата измерения нормальному закону.....	110
Применение критерия К. Пирсона $\chi^2$ .....	111
Применение критериев В. Романовского.....	113
Вероятности сложных событий. Формула Т. Байеса .....	115
2.4.5. Построение доверительных интервалов.....	120
Применение составного критерия $d$ .....	127
2.4.6. Доверительные интервалы решения обратной задачи теории измерений .....	133
Квантили распределения Стьюдента .....	135
2.4.7. Многократное измерение с неравноточными значениями отсчета	136
2.4.8. Вычисление и сравнение результатов нескольких серий измерений .....	141
Проверка равнорассеянных результатов серий измерений .....	141
Проверка неравнорассеянных результатов серий измерений .....	144
<b>3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ</b> .....	146
3.1. Единство измерений .....	146
3.2. Техническая основа обеспечения единства измерений .....	147
3.3. Нормативно-правовая основа обеспечения единства измерений .....	151
3.4. Организационная основа обеспечения единства измерений .....	154
3.5. Нормативно-технические элементы систематизации измерений размеров .....	156
3.6. Система предпочтительных чисел и нормирование .....	156
<b>4. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ СРЕДСТВ И СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЙ</b> .....	169
4.1. Элементная структура средств и систем измерений .....	169
4.2. Интерполяция, аппроксимация и экстраполяция функций сигналов преобразователей .....	171
4.3. Многозвенные измерительные механизмы.....	178
4.4. Синтез параметров комбинированных механизмов.....	185
4.5. О повышении точности измерительных средств .....	190
4.6. Нормирование точности .....	193
<b>5. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЙ</b> .....	196
5.1. Приборы со шкалой нониуса .....	198
5.2. Микрометрические приборы.....	206
5.3. Пружинно-оптические приборы .....	219

6. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МИКРОСКОПЫ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ .....	222
6.1. Приборы для измерения длин и углов .....	222
6.2. Приборы для измерения шероховатости .....	232
6.3. Средства послеоперационного контроля .....	234
6.4. Модульная структура измерительных систем .....	239
7. МЕХАНИЧЕСКИЕ, ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ .....	242
7.1. Измерительные системы со штриховой мерой .....	242
7.2. Измерительные системы с металлическими штриховыми мерами .....	245
7.3. Фотометрические измерительные системы .....	246
8. ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МИКРОСКОПЫ .....	250
8.1. Амплитудные микроскопы .....	251
8.2. Фазаимпульсные микроскопы .....	256
8.3. Модуляционные микроскопы .....	262
9. ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ .....	264
9.1. Элементы измерительной системы с растровым или интерферометрическим преобразователями .....	264
9.2. Измерительные системы с растровым преобразователем .....	272
10. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С КОДОВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ .....	276
10.1. Кодовые преобразователи .....	276
10.2. Измерительные системы к горизонтально-расточному станку.....	281
11. СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ .....	287
11.1. Аспекты предпочтительного использования элементов вибрационного контроля в качестве параметров идентификации .....	289
11.2. Нормирование и контроль профиля .....	290
11.3. Анализ спектров составляющих профиля.....	292
11.4. Технические ресурсы неразрушающего контроля .....	296
11.5. Средства регистрации и измерения параметров вибрации .....	301
11.5.1. Приборы тарирования и анализа колебаний .....	310
11.5.2. Приборы для анализа и записи колебаний.....	317
11.5.3. Определение частотных характеристик и представление экспериментальных данных .....	318
12. ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ .....	323
12.1. Оптимальное планирование эксперимента.....	323
12.2. Технические интеллектуальные системы .....	324
12.3. Технический интеллект и управление.....	324

12.4. Метрологическое обеспечение средств измерений .....	325
12.4.1. Поверочная схема приборов типа ШЦ .....	327
12.4.2. Нормирование отклонений ШЦ .....	328
12.5. Методические основы выполнения измерений .....	332
12.5.1. Многократные равноточные и неравноточные измерения .....	332
12.5.2. Многократные измерения нескольких серий.....	340
<b>13. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕРЕНИЙ .....</b>	<b>343</b>
13.1. Вибрационные процессы и средства измерений .....	343
13.2. Автономные системы.....	345
13.3. Метод интегрирования в квадратурах.....	345
13.4. Спектры амплитуд вибрационных систем .....	353
13.5. Метод гармонического баланса .....	354
13.6. Метод фазовой плоскости .....	367
<b>14. ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ .....</b>	<b>373</b>
14.1. Международно-правовые акты и концепция исполнения в правовом государстве .....	373
14.2. Общие вопросы технического регулирования .....	400
14.3. Технические регламенты как основа регулирования.....	426
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>450</b>
<b>ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ.....</b>	<b>452</b>
<b>ГЛОССАРИЙ.....</b>	<b>454</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	<b>458</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>467</b>