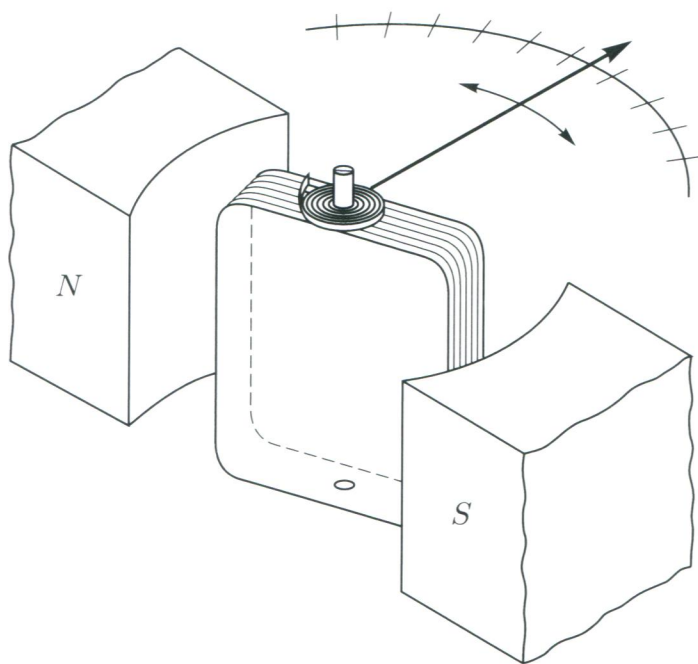


Р. С. Филиола, Д. Э. Бизли

# ТЕОРИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ



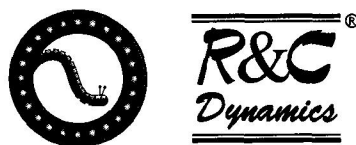
**R&C**  
*Dynamics*

Ричард С. Филиола, Дональд Э. Бизли

# ТЕОРИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Перевод с английского  
Л. Б. Вертгейма

Под редакцией  
Ю. Л. Караваева



Москва ♦ Ижевск

2016

УДК 389  
ББК 30.102  
Ф532

---

<b>Интернет-магазин</b>	• физика • математика • биология • робототехника • нефтегазовые технологии
<b>MAFFESIS</b>	
<b><a href="http://shop.rcd.ru">http://shop.rcd.ru</a></b>	

---

**Филиола Р. С., Бизли Д. Э.**

Ф532 Теория и планирование механических измерений / перевод с англ. Л. Б. Вертгейма под ред. Ю. Л. Караваева. — М.–Ижевск : ООО «Компьютерная динамика», 2016. — 760 с.

ISBN 978-5-906268-02-0

Данная книга является переводом на русский язык одной из самых популярных в американских колледжах и университетах книги, пережившей уже пять изданий. Популярность данной книги обеспечивается простым и понятным языком авторов, которые подробно описывают теорию, лежащую в основе измерений, иллюстрируют ее наглядными схемами и фотографиями натуральных измерительных устройств. При переводе мы постарались сохранить уникальный стиль авторов, что позволит читателям, не обладающим специальными знаниями в области теории измерений, не только познакомиться с ее основами, но и правильно подобрать измерительное оборудование, спланировать проведение измерений, а также провести оценку их погрешностей.

Книга будет полезна студентам, инженерам и научным работникам, интересующимся разработкой измерительных устройств, обработкой данных, полученных от измерительных устройств. Особенно актуальна данная книга будет для студентов и аспирантов технических и естественнонаучных специальностей.

**ББК 30.102**  
**УДК 389**

**ISBN 978-5-906268-02-0**

© John Wiley & Sons, Inc., 2011

© ООО «Компьютерная динамика», перевод на рус. яз., 2016

Все права защищены. Перевод книги *Theory and Design for Mechanical Measurements, 5<sup>th</sup> ed.* by Richard S. Figlioli & Donald E. Beasley опубликован в рамках лицензионного соглашения с правообладателем.

---

---

# Оглавление

Предисловие . . . . .	xi
<b>ГЛАВА 1. Основные понятия методов измерений . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1. Введение . . . . .	1
1.2. Измерительная система общего вида . . . . .	2
1.3. Планирование эксперимента . . . . .	7
1.4. Калибровка . . . . .	18
1.5. Стандарты . . . . .	29
1.6. Представление данных . . . . .	38
1.7. Резюме . . . . .	39
<b>ГЛАВА 2. Статические и динамические характеристики сигналов . . . . .</b>	<b>53</b>
2.1. Введение . . . . .	53
2.2. Понятия входного и выходного сигналов . . . . .	53
2.3. Анализ сигналов . . . . .	58
2.4. Амплитуда и частота сигнала . . . . .	63
2.5. Преобразование Фурье и спектр частот . . . . .	78
2.6. Резюме . . . . .	86
<b>ГЛАВА 3. Поведение измерительной системы . . . . .</b>	<b>97</b>
3.1. Введение . . . . .	97
3.2. Общая модель измерительной системы . . . . .	98
3.3. Специальные случаи моделирования системы общего вида . . . . .	103
3.4. Передаточные функции . . . . .	126
3.5. Фазовая линейность . . . . .	128
3.6. Многофункциональные входы . . . . .	130
3.7. Связанные системы . . . . .	132
3.8. Резюме . . . . .	134
<b>ГЛАВА 4. Вероятность и статистика . . . . .</b>	<b>145</b>
4.1. Введение . . . . .	145
4.2. Теория статистических измерений . . . . .	146
4.3. Описание поведения генеральной совокупности . . . . .	154
4.4. Статистика наборов данных конечного размера . . . . .	159
4.5. Распределение $\chi^2$ . . . . .	166
4.6. Регрессионный анализ . . . . .	171

4.7. Обнаружение значений в данных . . . . .	180
4.8. Требуемое количество измерений . . . . .	181
4.9. Моделирование Монте-Карло . . . . .	183
4.10. Резюме . . . . .	186
<b>ГЛАВА 5. Анализ погрешности . . . . .</b>	<b>199</b>
5.1. Введение . . . . .	199
5.2. Ошибки измерений . . . . .	201
5.3. Анализ погрешности на стадии проектирования . . . . .	203
5.4. Идентификация источников ошибок . . . . .	208
5.5. Систематические и случайные ошибки . . . . .	210
5.6. Анализ погрешности: распространение ошибок . . . . .	213
5.7. Анализ погрешности на продвинутой стадии . . . . .	219
5.8. Анализ погрешности кратных измерений . . . . .	226
5.9. Коррекция для коррелированных ошибок . . . . .	241
5.10. Несимметричный интервал систематической погрешности . . . . .	243
5.11. Резюме . . . . .	245
<b>ГЛАВА 6. Аналоговые электрические устройства и измерения . . . . .</b>	<b>261</b>
6.1. Введение . . . . .	261
6.2. Аналоговые устройства: измерение силы тока . . . . .	262
6.3. Аналоговые устройства: измерение напряжения . . . . .	267
6.4. Аналоговые устройства: измерение сопротивления . . . . .	273
6.5. Ошибки нагрузки и согласование импедансов . . . . .	281
6.6. Аналоговая обработка сигналов: усилители . . . . .	286
6.7. Аналоговая обработка сигналов: схемы специального назначения . . . . .	291
6.8. Аналоговая обработка сигналов: фильтры . . . . .	296
6.9. Заземления, экранирование и соединительные провода . . . . .	309
6.10. Резюме . . . . .	313
<b>ГЛАВА 7. Дискретизация, цифровые устройства и сбор данных . . . . .</b>	<b>323</b>
7.1. Введение . . . . .	323
7.2. Понятия, связанные с дискретизацией . . . . .	324
7.3. Цифровые устройства: биты и слова . . . . .	334
7.4. Передача цифровых данных: высокие и низкие сигналы . . . . .	336
7.5. Измерения напряжения . . . . .	338
7.6. Системы сбора данных . . . . .	351
7.7. Компоненты систем сбора данных . . . . .	352
7.8. Аналоговые коммуникации ввода-вывода . . . . .	358
7.9. Цифровая связь ввода-вывода . . . . .	362
7.10. Получение и обработка цифровых образов . . . . .	370
7.11. Резюме . . . . .	373

---

<b>ГЛАВА 8. Измерение температуры</b> . . . . .	<b>385</b>
8.1. Введение . . . . .	385
8.2. Эталоны и определение температуры . . . . .	386
8.3. Термометрия, основанная на температурном расширении . . . . .	390
8.4. Термометрия, основанная на электрическом сопротивлении . . . . .	393
8.5. Термоэлектрическое измерение температуры . . . . .	409
8.6. Радиационное измерение температуры . . . . .	432
8.7. Физические ошибки при измерении температуры . . . . .	439
8.8. Резюме . . . . .	449
<b>ГЛАВА 9. Измерение давления и скорости</b> . . . . .	<b>463</b>
9.1. Введение . . . . .	463
9.2. Понятия, связанные с давлением . . . . .	463
9.3. Инструменты отсчёта давления . . . . .	467
9.4. Датчики давления . . . . .	477
9.5. Калибровка датчиков давления . . . . .	484
9.6. Измерение давления в движущихся текучих средах . . . . .	489
9.7. Моделирование давления, гидравлических и пневматических систем . . . . .	495
9.8. Проектирование и инсталляция: эффекты передачи . . . . .	495
9.9. Системы измерения скорости жидкости . . . . .	500
9.10. Резюме . . . . .	513
<b>ГЛАВА 10. Измерения потоков</b> . . . . .	<b>523</b>
10.1. Введение . . . . .	523
10.2. История вопроса . . . . .	524
10.3. Понятия расхода в потоке . . . . .	524
10.4. Объёмный расход в потоке через определение скорости . . . . .	526
10.5. Счётчики расхода на основе перепада давления . . . . .	528
10.6. Встраиваемые счётчики для объёмного потока . . . . .	551
10.7. Счётчики массового расхода . . . . .	562
10.8. Калибровка и стандарты для поверки расходомеров . . . . .	568
10.9. Оценка стандартного расхода в потоке . . . . .	569
10.10. Резюме . . . . .	570
<b>ГЛАВА 11. Измерение деформации</b> . . . . .	<b>577</b>
11.1. Введение . . . . .	577
11.2. Напряжение и деформация . . . . .	578
11.3. Резистивные датчики деформации . . . . .	580
11.4. Электрические схемы датчиков деформации . . . . .	589
11.5. Практические соображения, связанные с измерением деформации . . . . .	593
11.6. Погрешность поля при изменении деформации и температурная компенсация . . . . .	596
11.7. Оптические методы измерения деформации . . . . .	607

---

11.8. Резюме . . . . .	613
<b>ГЛАВА 12. Мехатроника: сенсоры, приводы и контрольные устройства .</b>	<b>623</b>
12.1. Введение . . . . .	623
12.2. Датчики . . . . .	623
12.3. Приводы . . . . .	656
12.4. Управляющие устройства . . . . .	665
12.5. Резюме . . . . .	686
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А. Руководство к составлению технической документации</b>	<b>693</b>
А.1. Руководство по подготовке технической документации . . . . .	694
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Данные о свойствах и коэффициенты пересчёта . . . . .</b>	<b>703</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В. Основы преобразования Лапласа . . . . .</b>	<b>711</b>
В.1. Теорема о конечном значении . . . . .	712
В.2. Пары преобразования Лапласа . . . . .	712
<b>Глоссарий . . . . .</b>	<b>713</b>
<b>Предметный указатель . . . . .</b>	<b>729</b>
<b>Коэффициенты пересчёта . . . . .</b>	<b>741</b>
<b>Приставки для количественных утверждений . . . . .</b>	<b>745</b>