

Оглавление

Предисловие	3
Раздел I. Метрология	6
1. Общие сведения по метрологии	6
1.1. Метрология — наука об измерениях	6
1.2. Физические величины, их классификация и измерение	9
1.3. Адекватные модели и измеряемые величины	13
1.4. Общие принципы измерения свойств и шкалы измерений	14
1.5. Системы физических величин и их единиц	17
1.6. Фундаментальные физические константы и квантовая метрология	24
1.7. Классификация измерений	28
1.8. Элементы процесса измерений и методы измерений ..	31
1.9. Результат измерения физической величины и его характеристики. Качество измерений	33
1.10. Показатели точности измерений	35
1.11. Условия измерений и влияющие величины	43
1.12. Единство измерений и метрологическое обеспечение ..	45
1.13. Средства измерений и их метрологические характеристики	47
1.14. Передача размеров физических величин и поверочные схемы	54
1.15. Информационная, алгоритмическая и репрезентационная теории измерений	56
1.16. Применение методов теории вероятностей и математической статистики в метрологии (статистическая метрология)	61
Раздел II. Математические основы статистической метрологии. А. Теория вероятностей	66
2. Основные понятия, определения и теоремы	66
2.1. Множества. События. Случайные величины	66
2.2. Определения вероятности	79
2.3. Элементы комбинаторики	
2.4. Основные законы (теоремы) теории вероятностей	81

2.5. Меры зависимости между событиями (коэффициенты регрессии, корреляции, связи)	87
3. Распределения случайных величин и их характеристики	89
3.1. Распределения дискретных случайных величин	91
3.2. Непрерывные случайные величины	92
3.3. Двумерные и многомерные распределения случайных величин	99
3.4. Соотношения между распределениями	107
4. Числовые характеристики распределений случайных величин	112
4.1. Характеристики расположения для распределений дискретных и непрерывных случайных величин	112
4.2. Характеристики рассеяния случайных величин	117
4.3. Средний квадрат случайной величины	124
4.4. Среднее и дисперсия функции случайной величины ..	125
4.5. Числовые характеристики среднего арифметического независимых случайных величин	125
4.6. Моментное описание распределений случайных величин	126
4.7. Производящая и характеристическая функции	128
4.8. Симметричные, смещенные и усеченные распределения	133
5. Законы распределения случайных величин	138
5.1. Дискретные распределения	138
5.2. Непрерывные распределения	145
5.3. О вычислении вероятности заданного отклонения и правиле трех сигм	157
5.4. О табулировании функции нормированного гауссовского распределения	158
5.5. О характеристической функции нормального закона распределения	160
5.6. Центральная предельная теорема	161
6. Кумулянтное описание случайных величин	164
6.1. Кумулянты (семиинварианты)	164
6.2. Связь кумулянтов с моментами	165
6.3. Статистический смысл и свойства кумулянтов одномерного распределения. Коэффициенты асимметрии и эксцесса	166
6.4. Разложение произвольной плотности вероятности по производным гауссова распределения	170

6.5. Моменты и кумулянты двумерного распределения....	171
6.6. Сложение независимых случайных величин.....	174
Раздел III. Математические основы статистической метрологии. Б. Математическая статистика.....	176
7. Выборочный метод статистики.....	177
7.1. Генеральная совокупность и выборки.....	177
7.2. Способы наглядного представления статистических данных.....	181
7.3. Основные распределения в статистике, связанные с нормальным законом распределения.....	187
7.4. Согласование данных измерений (наблюдений) с теоретическим законом распределения. Разложение в ряд Грама–Шарлье.....	197
8. Характеристики выборки. Точечное и интервальное оценивание параметров.....	202
8.1. Определение характеристик выборки.....	202
8.2. Выборочные значения как случайные величины. Выборочные распределения.....	204
8.3. Оценки параметров генеральной совокупности по характеристикам выборки.....	205
8.4. Понятие статистической оценки.....	210
8.5. Точечные оценки параметров и требования к ним.....	212
8.6. Робастность оценок.....	217
8.7. Неравенство Рао–Крамера.....	222
8.8. Методы нахождения оценок.....	224
8.9. Интервальное оценивание. Доверительные интервалы и доверительные вероятности.....	231
8.10. Доверительный интервал для математического ожидания нормального распределения при известной дисперсии.....	235
8.11. Доверительный интервал для дисперсии нормального распределения.....	237
8.12. Доверительный интервал для математического ожидания нормального распределения при неизвестной дисперсии.....	238
8.13. Доверительный интервал для математического ожидания при большом объеме выборки.....	239
8.14. Доверительный интервал для среднего квадратического отклонения при большом объеме выборки.....	240
9. Статистические гипотезы и тесты.....	243

9.1. Понятие статистической гипотезы и статистического критерия	243
9.2. Проверка гипотез и уровни значимости.....	246
9.3. Критерии согласия и их характеристики	247
9.4. Проверка гипотезы о виде распределения	251
9.5. Статистическое тестирование в метрологии	256
10. Дисперсионный анализ	268
10.1. Предмет и задачи дисперсионного анализа.....	268
10.2. Однофакторный дисперсионный анализ	270
10.3. О многофакторном и двухфакторном дисперсионном анализе	275
11 Корреляционный анализ.....	282
11.1. Предмет и задачи корреляционного анализа	282
11.2. Меры корреляции.....	284
11.3. Корреляционный момент (ковариация) и коэффициент корреляции	286
11.4. Основные свойства и характеристики корреляционного момента и коэффициента корреляции	288
11.5. Двумерное нормальное распределение.....	292
11.6. Числовые характеристики многомерных распределений	293
11.7. Выборочный корреляционный момент и коэффициент корреляции	295
11.8. Оценка коэффициента корреляции по данным наблюдений. Корреляционная таблица	297
11.9. Выборочный квадрантный, или знаковый, коэффициент корреляции	299
12. Регрессионный анализ	301
12.1. Предмет и задачи регрессионного анализа.....	301
12.2. Условные распределения. Условные математические ожидания.....	303
12.3. Метод наименьших квадратов и регрессия	308
12.4. Геометрическая интерпретация коэффициентов регрессии	312
12.5. Эллипс рассеяния (контурный эллипс).....	314
12.6. Вычисление и анализ приближенной регрессии	318
12.7. Множественный линейный регрессионный анализ.....	323
13. Статистическое моделирование (метод Монте-Карло)	328
13.1. Вводные замечания	328

13.2. Общая схема метода Монте-Карло.....	330
13.3. Применение метода статистических испытаний.....	332
13.4. Получение и преобразование случайных чисел.....	339
13.5. Случайные числа с равномерным распределением....	341
13.6. Получение случайных чисел с заданным законом распределения.....	342
13.7. Общие замечания о статистическом моделировании сложных систем.....	349
Раздел IV. Статистические методы в метрологии.....	351
14. Погрешности измерений и вычислений.....	351
14.1. Основные понятия теории погрешностей.....	351
14.2. Классификация погрешностей.....	353
14.3. Методические и инструментальные погрешности.....	355
14.4. Систематические и случайные погрешности.....	361
14.5. Грубые погрешности.....	368
14.6. Погрешности вычислений.....	372
14.7. Основные правила оценки погрешностей вычислений.	375
14.8. Общий подход к оценке погрешностей результатов измерений.....	378
14.9. Типичные составляющие погрешности измерений.....	381
15. Обнаружение и оценка систематических погрешностей.....	384
15.1. Применение дисперсионного анализа. Критерий Фишера.....	385
15.2. Анализ средних по сериям.....	389
15.3. Случай неравноточных серий измерений.....	391
15.4. Метод последовательных разностей (критерий Аббе)..	394
15.5. Косвенные измерения.....	395
15.6. Совместные измерения.....	396
16. Статистическое оценивание случайных погрешностей.....	400
16.1. Нормальный закон распределения случайных погрешностей.....	400
16.2. Оценивание параметров нормального распределения погрешностей.....	405
16.3. Равномерное распределение.....	412
16.4. Аппроксимация функций распределения вероятностей погрешностей измерений с помощью функции Иордана	413
16.5. Связь точечных и интервальных характеристик.....	415

17. Наиболее распространенные законы распределения, используемые при анализе погрешностей измерений	419
17.1. Нормальное распределение (распределение Гаусса–Лапласа)	420
17.2. Равномерное (прямоугольное) распределение	423
17.3. Распределение Симпсона	425
17.4. Распределение арксинуса	427
17.5. Распределение Коши	428
17.6. Распределение Эрланга	431
17.7. Распределение Стьюдента (<i>t</i> -распределение)	432
17.8. Распределение Пирсона	434
17.9. Распределение Шарлье (ряд Грама–Шарлье типа А) ..	436
17.10. Классическое (двухпараметрическое) гамма-распределение	438
18. Суммирование частных погрешностей	441
18.1. Некоторые общие сведения и соображения	442
18.2. Методика определения суммарной погрешности	446
18.3. Определение погрешности измерительных систем	460
18.4. О расчете погрешности при некоторых измерениях на СВЧ	468
19. Неопределенность измерений в метрологии	473
19.1. Об истории утверждения концепции неопределенности измерений в метрологической практике	473
19.2. Неопределенность измерения	476
19.3. Классификация неопределенностей	481
19.4. Вычисление стандартной неопределенности входных оценок	482
19.5. Вычисление стандартной неопределенности выходной оценки. Суммарная неопределенность	494
19.6. Определение расширенной неопределенности измерений	506
19.7. Степени свободы и уровни доверия	508
19.8. Погрешность и неопределенность измерений	513
19.9. Пошаговая методика вычисления неопределенности измерений	518
19.10. Дополнительная информация	520
20. Оценивание неопределенности измерений	524
20.1. Бюджет неопределенности	524
20.2. О коэффициенте неопределенности при поверке измерительной аппаратуры	528

20.3. Анализ и оценивание неопределенности при измерении партий изделий	529
20.4. Составляющие неопределенности при измерении партий изделий	543
Раздел V. Статистические методы обработки результатов измерений	549
21. Обработка экспериментальных данных	549
21.1. Экспериментальные исследования и обработка данных	549
21.2. Исходные данные для обработки	551
21.3. Основные задачи обработки результатов прямых измерений	552
21.4. Основные операции обработки данных	553
21.5. Предварительная обработка данных	554
21.6. О числовых характеристиках эмпирического закона распределения и их оценках	556
21.7. Проверка гипотезы нормальности распределения	558
21.8. Преобразование распределений к нормальному	564
21.9. Выравнивание эмпирического распределения по гипотетическим теоретическим	565
21.10. Определение принадлежности двух выборок к одной генеральной совокупности	575
21.11. Оценки парных зависимостей по эмпирическим данным	579
Приложения	586
1. Используемые метрологические термины и их определения	586
2. Статистические термины и понятия, используемые в метрологии	591
3. Дополнительные математические сведения	596
4. Вероятностно-статистические таблицы	603
5. Законы распределения случайных величин	530
Основные обозначения	646
Используемые сокращения	649
Литература	651