

Электроника

В.М. ШАРАПОВ, Е.С. ПОЛИЩУК,
Н.Д. КОШЕВОЙ, Г.Г.ИШАНИН,
И.Г. МИНАЕВ, А.С. СОВЛУКОВ

Датчики



ТЕХНОСФЕРА



МИР ЭЛЕКТРОНИКИ

В.М. Шарапов
Е.С. Полищук
Н.Д. Кошевой
Г.Г. Ишанин
И.Г. Минаев
А.С. Совлуков

ДАТЧИКИ

Под общ. ред. В.М. Шарапова,
Е.С. Полищука

ТЕХНОСФЕРА
Москва
2012

УДК 621.317.39

ББК 32.96-04

Д21

Рецензент:

Тымчик Г.С., д.т.н., профессор, декан приборостроительного факультета, зав. кафедрой производства приборов Национального технического университета Украины «КПИ»

Д21 Датчики: Справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Шарапов,

Е.С. Полищука

Москва: Техносфера, 2012.- 624 с., ISBN 978-5-94836-316-5

В книге изложены теоретические основы, принципы действия, описаны конструкции и характеристики датчиков физических величин.

Книга предназначена для научных работников, студентов, аспирантов, специалистов в области разработки датчиков, измерительных приборов, элементов и устройств вычислительной техники и систем управления.

УДК 621.317.39

ББК 32.96-04

Авторы:

Шарапов В.М., Полищук Е.С., Кошевой Н.Д.,

Ишанин Г.Г., Минаев И.Г., Совлуков А.С.

© 2012, В.М. Шарапов, Е.С. Полищук и др.

© 2012, ЗАО «РИЦ «Техносфера»,
оригинал-макет, оформление

ISBN 978-5-94836-316-5

www.sensorica.ru

Мы измеряем

SENSIRION
THE SENSOR COMPANY

Heraeus

Honeywell

SICK
Sensor Intelligence.

FineTek



Датчики

- Температуры
- Влажности
- Тока
- Давления
- Ускорения
- Уровня
- Угла

Преобразователи

- Датчики положения и расстояния
- Энкодеры
- Датчики для пневмоприводов
- Датчики меток
- Сканеры

Вы управляете

СЕНСОРИКА

(495) 223 0038

Москва, 1-й Шемиловский пер., д. 16, стр. 2
E-mail: info@sensorica.ru, www.sensorica.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	12
Глава 1. Основные понятия и определения. Классификация датчиков	13
1.1. Термины и определения	14
1.2. Классификация датчиков	17
1.3. Некоторые физические эффекты, используемые в датчиках физических величин	24
Литература	28
Глава 2. Элементы общей теории измерительных преобразователей (датчиков)	31
2.1. Общие сведения	31
2.2. Обобщенный генераторный преобразователь	32
2.3. Метод электромеханических аналогий	34
Литература	41
Глава 3. Характеристики датчиков	42
3.1. Общие сведения	42
3.2. Статические характеристики	42
3.3. Метрологические характеристики	47
3.4. Динамические характеристики	51
3.5. Типовые динамические звенья	57
Литература	58
Глава 4. Электронные устройства датчиков	59
4.1. Общие сведения	59
4.2. Операционный усилитель	59
4.3. Усилители заряда	70
4.4. Аналогово-цифровые преобразователи	77
4.5. Генераторы сигналов	83
Литература	88
Глава 5. Упругие элементы датчиков	89
5.1. Основные разновидности и расчетные соотношения	89
5.2. Материалы упругих элементов	95
5.3. Статические и динамические характеристики упругих элементов	98
Литература	103
Глава 6. Оптические элементы датчиков	104
6.1. Общие сведения	104
6.2. Элементы геометрической оптики	106
6.3. Фотометрия	113
6.4. Источники оптического излучения	115
6.5. Оптические материалы	124
6.6. Линзы	124
6.7. Свето пропускающие окна	126
6.8. Плоские и сферические зеркала	126
6.9. Волоконные световоды	127
6.10. Покрытия, поглощающие тепловое излучение	129
Литература	130



ОАО «НИИФИ» - ведущее предприятие ракетно-космической отрасли, надежный, высокопрофессиональный и авторитетный разработчик и поставщик датчиков, преобразователей и систем для ракетно-космической и авиационной техники, атомных станций, вооружения и военной техники, железнодорожного транспорта, жилищно-коммунального хозяйства, нефтегазового комплекса и других отраслей.



Аппаратура института используется для измерений:

• абсолютных давлений	от 2 мм рт. ст. до 90 МПа
• избыточных давлений	от 0,001 до 300 МПа
• разности давлений	от 1,6 до 4000 кПа
• быстропеременных давлений	от 0,0005 до 30 МПа
• акустических давлений	от 85 до 194 дБ
• деформаций	± 3000 мкм/м
• сил	от 0,02 до 12000 кН
• крутящих моментов	от 60 до 250 Н·м
• линейных перемещений	от 1,4 до 16000 мм
• угловых перемещений	от 0,1 до 688 °
• линейных ускорений	от $\pm 0,0028$ до ± 100000 м/с ²
• угловых ускорений	от ± 3 до ± 2200 рад/с ²
• сейсмоускорений	от $\pm 0,005$ до $\pm 5,6$ м/с ²
• вибрационных и ударных ускорений	± 100000 м/с ²
• частоты вращения	от 60 до 130000 об/мин.
• температуры	от минус 196 до 500 °С
• силы тока	от 0,5 до 150 А

ОАО «НИИФИ» участник важнейших проектов, выполняемых в интересах экономики России, среди них:

- Создание интеллектуальных систем мониторинга и контроля состояния технически сложных объектов (ТСО).
- Разработка перспективных датчиков и преобразователей для особо жестких условий эксплуатации.
- Создание технологии и производство распределенных пьезомодулей для встраивания в базовые несущие конструкции ТСО.

Глава 7. Резистивные датчики	131
7.1. Основные характеристики	131
7.2. Реостатные датчики перемещений	135
7.3. Тензорезистивные датчики	139
7.4. Полупроводниковые тензодатчики	145
Литература	146
Глава 8. Емкостные датчики	147
8.1. Общие сведения	147
8.2. Емкостные датчики давления	150
8.3. Датчики уровня	155
8.4. Емкостный датчик перемещений (неровности поверхности)	161
8.5. Измерительные схемы емкостных датчиков	162
Литература	169
Глава 9. Пьезоэлектрические датчики	171
9.1. Общие сведения	171
9.2. Пьезоэлектрические материалы	174
9.3. Классификация пьезоэлектрических датчиков	181
9.4. Методы исследования пьезоэлектрических датчиков	182
9.5. Пьезоэлектрические резонаторы	183
9.6. Пьезокерамические трансформаторы	185
9.7. Пространственная энергосиловая структура пьезокерамического элемента	187
9.8. Обратная связь в пьезоэлектрических датчиках	190
9.9. Биморфные и триморфные пьезоэлементы	193
9.10. Резонансные пьезодатчики	196
9.11. Датчики на основе доменно-диссипативных пьезотрансформаторов	201
9.12. Электроакустические преобразователи	204
Литература	206
Глава 10. Электромагнитные преобразователи	208
10.1. Основные разновидности	208
10.2. Индуктивные преобразователи	209
10.3. Взаимоиндуктивные преобразователи	212
10.4. Индукционные преобразователи	215
10.5. Магнитоупругие и магнитоанизотропные преобразователи	217
10.6. Датчики Холла	221
10.7. Магниторезистивные преобразователи	225
10.8. Магнитодиоды	228
10.9. Магнитотранзисторы	229
Литература	231
Глава 11. Датчики температуры	232
11.1. Общие сведения	232
11.2. Терморезистивные преобразователи температуры	238
11.3. Термоэлектрические преобразователи температуры	246
11.4. Радиационные пирометры	253
11.5. Акустические термометры	257
11.6. Кварцевые термодатчики	261
Литература	262
Глава 12. Датчики и приборы для измерения механических величин	264
12.1. Силоизмерительные устройства	264
12.2. Датчики и приборы для измерения массы	269



«Электроника: НТБ» – журнал об электронике для профессионалов!



«ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес» – отечественный научно-технический журнал, освещающий проблемы электроники в ее широком понимании.

Журнал «Электроника: НТБ» рассказывает о наиболее значимых событиях в мире электроники, о которых уже завтра будут говорить все.

Это новинки в мире телекоммуникаций и связи, электронных компонентов, компьютерной, медицинской, силовой техники, автоматики и систем безопасности.

В фокусе также - анализ мирового рынка электроники, проблемы российской науки, вопросы интеллектуальной собственности, инвестиций.

Главный редактор: Сигов Александр Сергеевич, академик РАН, ректор Московского государственного института радиотехники, электроники и автоматики (Технического университета).

Публикуется с 1996 года
Периодичность – 8 номеров в год
www.electronics.ru

Журнал выпускается при содействии Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга РФ.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования.

Читательская аудитория:

Это люди, в той или иной мере влияющие на развитие и облик индустрии электроники. Это руководители предприятий, занимающиеся выпуском электронного оборудования, инженеры-разработчики электронных компонентов, научные сотрудники предприятий, а также будущее российской электронной промышленности – студенты профильных вузов.

12.3. Датчики давления и разницы давлений	273
12.4. Преобразователи крутящих моментов (торсиометры)	276
Литература	280
Глава 13. Датчики вибраций	281
13.1. Классификация датчиков вибрации	281
13.2. Механические приборы	281
13.3. Индукционные датчики	283
13.4. Индуктивные датчики	286
13.5. Тензометрические датчики	289
13.6. Емкостные датчики	290
13.7. Электронно-механические датчики перемещения	291
13.8. Фотоэлектрические датчики	292
13.9. Магнито-резистивные датчики	293
13.10. Пьезоэлектрические акселерометры	295
Литература	310
Глава 14. Гидроакустические преобразователи	312
14.1. Классификация и характеристики преобразователей	312
14.2. Соотношения электромеханического преобразования	314
14.3. Цилиндрические пьезокерамические преобразователи	316
14.4. Пластинчатые и сферические пьезокерамические преобразователи	317
14.5. Стержневые магнитострикционные преобразователи	318
14.6. Цилиндрические магнитострикционные преобразователи	322
14.7. Основные требования, предъявляемые к проектируемым преобразователям	326
14.8. Выбор способа преобразования энергии и формы колебаний	328
14.9. Некоторые конструкции преобразователей	330
Литература	333
Глава 15. Преобразователи для неразрушающего контроля	335
15.1. Классификация методов неразрушающего контроля	335
15.2. Магнитные методы	336
15.3. Электрические методы	338
15.4. Вихретоковые методы	339
15.5. Радиоволновые методы	340
15.6. Тепловые методы	340
15.7. Оптические методы	341
15.8. Радиационные методы	342
15.9. Неразрушающий контроль проникающими веществами	343
15.10. Акустические методы неразрушающего контроля	343
15.11. Пьезоэлектрические преобразователи для неразрушающего контроля	345
Литература	356
Глава 16. Датчики газоанализаторов	358
16.1. Тепловые газоанализаторы	359
16.2. Магнитные газоанализаторы	364
16.3. Оптические газоанализаторы	368
16.4. Фотоколориметрические газоанализаторы	378
16.5. Электрохимические газоанализаторы	380
16.6. Ионизационные газоанализаторы	383
16.7. Хроматографические газоанализаторы	387
16.8. Масс-спектрометрические газоанализаторы	391
16.9. Акустические газоанализаторы	394
Литература	395



Журнал «Наноиндустрия»



Издается с 2007 года
Периодичность – 8 номеров в год
www.nanoindustry.su

Российское периодическое издание, посвященное наноматериалам, наноэлектронике, нанодатчикам и наноустройствам, диагностике наноструктур и наноматериалов, нанобиотехнологиям и применению нанотехнологий в медицине.

Журнал «Наноиндустрия» поддерживает и популяризирует оригинальные работы отечественных и русскоязычных зарубежных специалистов, знакомит читателей с перспективами развития новых направлений нанотехнологий и наноматериалов, освещает вопросы производства, экономики и бизнеса в области наноиндустрии. В целом содействует развитию отечественного научно-технологического потенциала.

Главный редактор журнала «Наноиндустрия» — Александр Николаевич Сауров, ген. директор НПК «Технологический центр» при Московском государственном институте электронной техники (ТУ МИЭТ), доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН.

Целевая аудитория: руководители и сотрудники профильных предприятий и компаний, специалисты смежных отраслей, а также аспиранты и студенты старших курсов профильных вузов.

Глава 17. Датчики влажности	397
17.1. Общие сведения	397
17.2. Методы измерения влажности твердых тел и жидкостей	397
17.3. Датчики электрических влагомеров твердых и жидких тел	402
17.4. Методы измерения влажности газов	407
Литература	416
Глава 18. Приемники излучения	417
18.1. Параметры и характеристики приемников оптического излучения	417
18.2. Приемники излучения на основе внутреннего фотоэффекта	423
18.3. Приемники излучения на основе внешнего фотоэффекта	444
18.4. Тепловые приемники оптического излучения	454
Литература	457
Глава 19. Детекторы ионизирующих излучений	458
19.1. Классификации детекторов	458
19.2. Ионизационные камеры	459
19.3. Газовые счетчики	460
19.4. Сцинтилляционные счетчики	464
19.5. Полупроводниковые детекторы	467
19.6. Интегрирующие детекторы для индивидуальной дозиметрии	471
Литература	474
Глава 20. Радиоволновые датчики	475
20.1. Общие сведения. Физические основы реализации радиоволновых датчиков	475
20.2. Датчики геометрических параметров	478
20.3. Датчики механических величин	485
20.4. Датчики параметров движения	489
20.5. Датчики физических свойств материалов и изделий	496
20.6. Контроль и измерение параметров некоторых объектов и процессов	502
Литература	513
Глава 21. Электрохимические и биохимические датчики	514
21.1. Классификации электрохимических датчиков	514
21.2. Характеристики электрохимических датчиков	516
21.3. Основные разновидности методов химического анализа	517
21.4. Кондуктометрические устройства	520
21.5. Измерительные преобразователи рН-метров	522
21.6. Ионометры	527
21.7. Электрохимические полевые транзисторы	530
21.8. Модифицированные электроды	531
Литература	532
Глава 22. Расходомеры и счетчики	533
22.1. Общие сведения	533
22.2. Расходомеры переменного перепада давления	535
22.3. Дифференциальные манометры	542
22.4. Поплавковые дифманометры	543
22.5. Колокольные дифманометры	544
22.6. Деформационные дифманометры	544
22.7. Расходомеры переменного уровня	545
22.8. Расходомеры обтекания	546
22.9. Тахометрические расходомеры	547
22.10. Шариковые расходомеры	548

22.11. Поршневые расходомеры	549
22.12. Тепловые расходомеры	550
22.13. Электромагнитные расходомеры	552
22.14. Акустические расходомеры	553
22.15. Лазерные расходомеры	556
22.16. Расходомеры, основанные на использовании явления ядерного магнитного резонанса (ЯМР)	557
22.17. Центробежные расходомеры	559
22.18. Турборасходомеры	560
22.19. Кориолисовые и гироскопические расходомеры	560
Литература	562
Глава 23. Датчики охранной сигнализации	563
23.1. Состав систем охранной сигнализации	563
23.2. Типы датчиков, применяемых в системах охранной сигнализации	570
Литература	581
Глава 24. Датчики и приборы летательных аппаратов	582
24.1. Классификация и условия работы авиационных датчиков и приборов	582
24.2. Пилотажно-навигационные датчики и приборы летательных аппаратов	585
24.3. Технические характеристики типовых авиационных приборов и датчиков	607
Литература	615
Сведения об авторах	617

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга написана коллективом авторов: — Ишаниным Г.Г., Кошевым Н.Д., Минаевым И.Г., Полищуком Е.С., Совлуковым А.С., Шараповым В.М. — под общей редакцией В.М. Шарапова и Е.С. Полищука.

Авторы благодарны рецензенту д.т.н., профессору Тымчику Г.С. за полезные замечания, высказанные при обсуждении книги.

В книге изложены теоретические основы, принципы действия, описаны конструкции и характеристики датчиков физических величин. В конце каждой главы приведена обширная библиография, а также сайты предприятий-разработчиков и изготовителей.

В главе 1 вводятся основные понятия, обсуждаются термины и определения, приводятся классификации датчиков, а также описания некоторых физико-технических эффектов, используемых в датчиках.

В главах 2 и 3 приведены элементы общей теории датчиков, описан метод электромеханических аналогий, статические, динамические и метрологические характеристики датчиков, а также типовые динамические звенья.

В главах 4, 5, 6 описаны наиболее часто используемые для датчиков электронные устройства, а также упругие и оптические элементы датчиков.

В главах 7—10 описаны резистивные, емкостные, пьезоэлектрические и электромагнитные датчики, а в главах 11—19 — применение датчиков для измерения различных физических величин.

В главах 20—24 описаны электрохимические, биохимические и радиоволновые датчики, а также применение датчиков для измерения расхода и количества жидкостей, в охранной сигнализации, в летательных аппаратах.

Книга предназначена для научных работников, студентов, аспирантов, специалистов в области разработки датчиков, измерительных приборов, элементов и устройств вычислительной техники и систем управления.

Авторы благодарны Л.Г. Куницкой за помощь в оформлении книги.

Авторы благодарны также генеральному директору издательства «Техносфера» Казанцевой О.А. за помощь и поддержку авторов.

ГЛАВА I

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ. КЛАССИФИКАЦИЯ ДАТЧИКОВ

Датчик — это преобразователь измеряемой (контролируемой) физической величины в величину, удобную для дальнейшего преобразования или измерения.

Датчик является обязательным элементом измерительных приборов, систем контроля и регулирования и т.п. Собственно, без датчиков невозможны ни измерение, ни контроль, ни регулирование.

Для построения датчиков используется значительное (более 500) количество физических эффектов (принципов). Некоторые из них приведены в табл. 1.1.

Развитие, совершенствование датчиков в значительной степени определяется достижениями в области физики, химии, физической химии, механики, радиотехники и других наук. Особое место в развитии датчиков занимают достижения и возможности современных технологий.

Принципы действия датчиков могут быть самыми разнообразными в зависимости от физической природы измеряемой величины, ее абсолютного значения, требуемой точности преобразования и т.п. Однако в подавляющем большинстве случаев преобразование входных физических величин в соответствующие выходные сигналы связано с *преобразованием энергии, в том числе преобразованием энергии одного вида в другой*. Энергетическое представление принципа работы измерительных преобразователей, базирующееся на двух фундаментальных законах — законе сохранения энергии и принципе обратимости, стало предпосылкой для создания А.А. Харкевичем основ общей теории измерительных преобразователей и их представления в виде пассивных четырехполюсников со сторонами разной физической природы [53].

Развитие общей теории измерительных преобразователей нашло отражение в работах Д.И. Агейкина, Л.А. Островского, А.М. Туричина, П.В. Новицкого и др.

Значительный вклад в развитие общих вопросов теории и практики датчиков отдельных физических величин внесли Д.И. Агейкин, Ж. Аш, Ф.Б. Байбаков, А.И. Бутурлин, В.И. Ваганов, В.А. Викторов, Дж. Вульвет, Г. Выглеб, А.Н. Гордов, З.Ю. Готра, Р. Джексон, В. Домаркас, Г.Г. Ишанин, П.П. Кремлевский, Л.Ф. Куликовский, Е.С. Левшина, Я. Луцик, В.В. Малов, Ф. Мейзда, И.Г. Минаев, П.В. Новицкий, Ю.Р. Носов, Г. Нуберт, П.П. Орнатский, Е.П. Осадчий, Л.А. Осипович, Е.С. Полищук, В.П. Преображенский, С.И. Пугачев, А.С. Совлуков, В.В. Солодовников, С.А. Спектор, Б.И. Стадник, С.Г. Таранов, Р. Тиль, Н.Г. Фарзани, Дж. Фрайден, А.В. Храмов, В.М. Шарапов, В. Эрлер, H.N. Norton, S. Thomson, R.W. White и др. (см. литературу к гл. 1).

1.1. Термины и определения

Как всегда, начиная изучать какой-либо вопрос, следует договориться о терминологии. Особое значение это приобретает в области, где существуют разные точки зрения, применяются различные термины для одного и того же технического устройства, существуют давние традиции и т.д.

Следует уточнить, что **определение** — это лингвистическая модель реального явления или объекта и, как всякая модель, является конечной, упрощенной и приближенной, содержит как истинную, так и условно-истинную и ложную информацию. Отсюда следует, что может существовать множество моделей (следовательно, и определений) одного и того же явления, объекта. То есть, каждое определение — это некая грань призмы, которой является исследуемое явление или объект.

В литературе достаточно широко используются термины «измерительное преобразование», «измерительный преобразователь», «датчик», «чувствительный элемент», «сенсор», «измерительный прибор», «средство измерений», а их определения — самые разнообразные. Например:

Преобразователями называют устройства, которые преобразуют одни физические величины, один вид энергии, один вид информации в другую физическую величину, в другой вид энергии или в другой вид информации [41, 43]. В широком смысле **преобразователь** — это, например, устройство, преобразующее давление в электрический сигнал (датчик давления), напряжение одного уровня в напряжение другого (трансформатор), электрическое напряжение во вращение вала (электродвигатель), энергию в движение (самолет, автомобиль) и т.д. Даже живой организм — это тоже своеобразный преобразователь.

Измерительное преобразование — представляет собой отражение размера одной физической величины размером другой физической величины, функционально с ней связанной [39, 40].

Измерительный преобразователь — это техническое устройство, построенное на определенном физическом принципе действия, выполняющее одно измерительное преобразование [39, 40].

Измерительный преобразователь — это преобразователь одной физической величины в другую, удобную для использования и обработки [18, 39].

Измерительное преобразование — это преобразование входного измерительного сигнала в функционально связанный с ним выходной сигнал.

Измерительный преобразователь (ИП) — это средство измерений, предназначенное для преобразования входного измерительного сигнала (измеряемой величины) в выходной сигнал, более удобный для дальнейшего преобразования, передачи, обработки или хранения, но непригодный для непосредственного восприятия наблюдателем [29].

Измерительный прибор является средством измерений, вырабатывающим выходной сигнал в форме, позволяющей наблюдателю непосредственно воспринять значение измеряемой физической величины [39].

Первичный измерительный преобразователь — это техническое устройство, которое непосредственно взаимодействует с материальным объектом измерения или контроля и предназначено для однозначного функционального преобразования одной физической величины — входной — в другую физическую

величину — выходную, которая является удобной для дальнейшего использования [54].

Объект — это явление или часть внешнего или внутреннего мира, которые наблюдает или может наблюдать человек в данный момент.

Материальный объект — это предмет материального исследования, сведения о котором нужны исследователю.

Объект измерения или контроля — это материальный объект или процесс, совокупность свойств которого определяет содержание ожидаемой информации. Объект измерения или контроля характеризуется измеряемыми физическими величинами или зависимостями между ними.

Чувствительный элемент (первичный чувствительный преобразователь) — конструктивный элемент или прибор, воспринимающий измеряемую физическую величину [60]. **Чувствительный элемент** является первичным измерительным преобразователем в измерительной цепи и осуществляет преобразование входного сигнала (измеряемой величины) в величину, удобную для последующей информационной обработки.

В различных областях техники чувствительный элемент называют **детектором, датчиком, приемником, зондом** или **измерительной головкой**.

Датчик — чувствительный элемент или конструктивно объединенная группа чувствительных элементов [60].

Детектор — чувствительный элемент (датчик) для измерения или регистрации излучения, полей или частиц [60].

Главным элементом измерительного преобразователя является **чувствительный элемент — сенсор**, который основывается на некотором физическом эффекте (принципе) [24, 39, 55, 61].

Принцип — лат. *principium* — основа, первоначало — основное исходное положение какой-либо теории, учение науки, основа устройства или действия какого-либо прибора, механизма и т.д. [29].

Сенсоры — от лат. *sensus* — чувство, ощущение — чувствительные искусственные устройства или органы живых организмов [29].

Датчик — это устройство, воспринимающее сигналы и внешние воздействия и реагирующие на них [49].

Датчик — совокупность измерительных преобразователей, объединенных в один конструктивный узел, выносимый на объект измерения [24].

В общем случае датчик может состоять из нескольких преобразователей [24, 39, 55, 60].

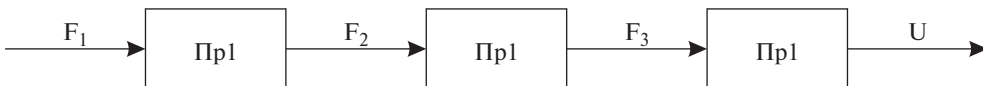


Рис. 1.1. Функциональная схема датчика: Пр1, Пр2, Пр3 — преобразователи; F_1 — входная физическая величина; F_2 , F_3 — промежуточные физические величины; U — выходной электрический сигнал

Любой датчик является преобразователем энергии. Вне зависимости от типа измеряемой величины всегда происходит передача энергии от исследуемого объекта к датчику. Работа датчика — это особый случай передачи информации, а любая передача информации связана с передачей энергии [50].

Датчик — устройство, непосредственно принимающее и передающее специальным приборам данные о деятельности механизма, живого организма или других явлениях [29].

Измерительный преобразователь является средством измерения и для него могут нормироваться технические и метрологические характеристики [39, 40].

Датчиком иногда называют средство измерений, представляющее собой конструктивно завершённое устройство, размещаемое в процессе измерения непосредственно в зоне исследуемого объекта и выполняющее функцию измерительного преобразователя [57].

В английском языке слово «sensor» означает «сенсор», «датчик», «чувствительный элемент».

Несмотря на почти полное совпадение смысла терминов «датчик» («сенсор», «чувствительный элемент») и «первичный преобразователь», между ними существуют также и некоторые смысловые и содержательные отличия. Датчик (сенсор, чувствительный элемент) **чувствует** (физическую величину), а преобразователь **преобразует** (в том числе и физическую величину).

Причем «чувствовать» в данном случае означает преобразовывать физическую величину к виду, удобному для дальнейшего использования или восприятия. Обычно это электрический сигнал, который легко преобразовать, например, в показания индикатора. Однако это может быть и неэлектрический сигнал, а изменение цвета (например, раствора или лакмусовой бумаги), которое может быть связано с наличием какого-то вещества в растворе или газе.

Понятие «преобразовывать» имеет, как мы уже отмечали, более широкий смысл.

Средство измерений — техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормируемые метрологические характеристики.

Измерительное устройство — средство измерений, в котором выполняется только одна из составляющих процедуры измерения (измерительная операция).

Измерительное преобразование (физической величины) — это измерительная операция, при которой входная физическая величина преобразуется в выходную, функционально связанную с ней.

Измерительный преобразователь — средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

Первичный измерительный преобразователь (сенсор, датчик) — измерительный преобразователь, ко входу которого подведена измеряемая величина, т.е. первый в измерительной цепи.

Измерительный прибор — средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Итак, оставляя в стороне некоторые лингвистические и семантические тонкости, а также очевидные неточности и противоречия в приведенных определениях, отметим, что анализ этих определений с функциональных и системных позиций показывает, что понятие **сенсор, датчик, чувствительный элемент, первичный измерительный преобразователь, детектор, приемник** в целом равнозначны.

1.2. Классификация датчиков

Классификация — операция отнесения заданного объекта к одному из классов, внутри которых объекты считаются неразличимыми. Классификация — это также результат этой операции [38, 58]. Классификация — простейший вид моделирования, в частности, самый слабый вид измерения [38, 58].

Классификация — это первичная, простейшая модель. Полнота классификации является предметом особого внимания при ее построении. Часто оказывается необходимым провести разграничение внутри одного класса, не отказываясь тем не менее от общности в его рамках. Так появляются подклассы, что приводит к многоуровневой, иерархической классификации.

Как и в случае лингвистических моделей, классификация, как и всякая модель, является конечной, упрощенной и приближенной, содержит истинную, условно-истинную и ложную информацию.

Отсюда также следует вывод, что может существовать (и существует) значительное количество классификаций преобразователей и датчиков по различным классификационным признакам. Например, в работе [55] приведена классификация датчиков по 24 классификационным признакам.

Задача классификации датчиков в первую очередь выдвигает требование установить целесообразные классификационные признаки [66]. Наиболее полное представление о всем разнообразии датчиков можно получить, приводя общую классификацию с учетом многих классификационных признаков (рис. 1.2).

Одна из самых общих классификаций делит датчики в зависимости от потребителя информации о них.

Для потребителей датчиков важна информация о датчиках, предназначенных для измерения определенных физических величин (ФВ), сведениях о выходных и входных параметрах и сигналах, технических и метрологических характеристиках. Такой подход требует построения классификационной схемы по видам физической величины.

Для разработчиков датчиков, студентов, специалистов, изучающих работу датчиков, важна информация о физических принципах их действия или, точнее, физических закономерностях, определяющих принцип их действия.

По видам входных и выходных величин измерительные преобразователи (датчики) можно разделить на 4 больших класса (рис. 1.3) [61]:

- **электрических величин в электрические**, например, непрерывных во времени (аналоговых) в прерывистые (дискретные, цифровые);
- **неэлектрических величин в неэлектрические**, например, давление в перемещение жесткого центра мембраны;
- **электрических величин в неэлектрические**, например, тока в отклонение стрелки прибора;
- **неэлектрических величин в электрические**. Примеры в данном случае мы приводить не будем, так как этим преобразователям (датчикам) посвящена почти вся эта книга.

Важнейшим классификационным признаком для датчиков является **физический принцип действия** — принцип преобразования физических величин, ко-

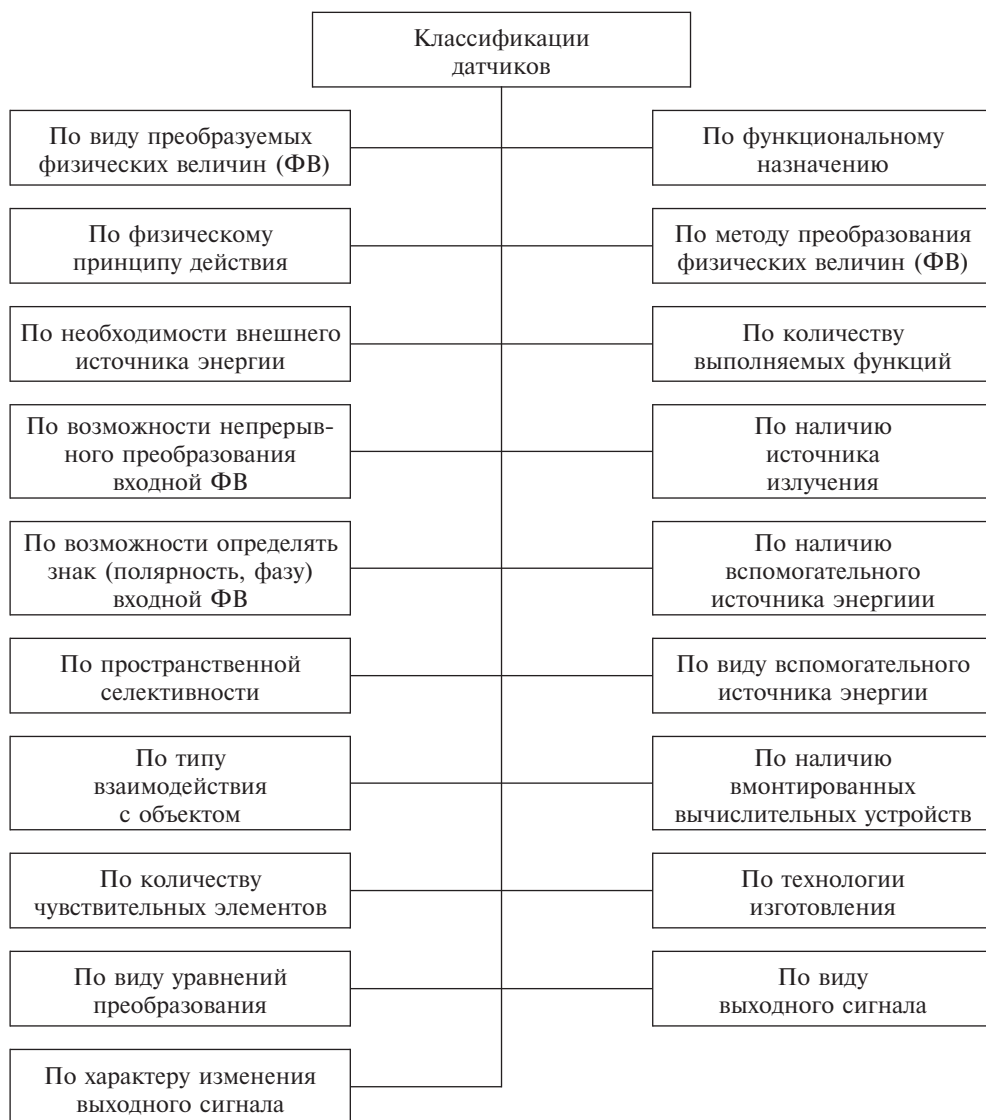


Рис. 1.2. Виды классификаций датчиков



Рис. 1.3. Классификация преобразователей по виду входных и выходных величин

торый основывается на некотором физико-техническом (физическом, электрохимическом, биоэлектронном, химическом и т.д.) эффекте (явлении). Такая классификация приведена на рис. 1.4.

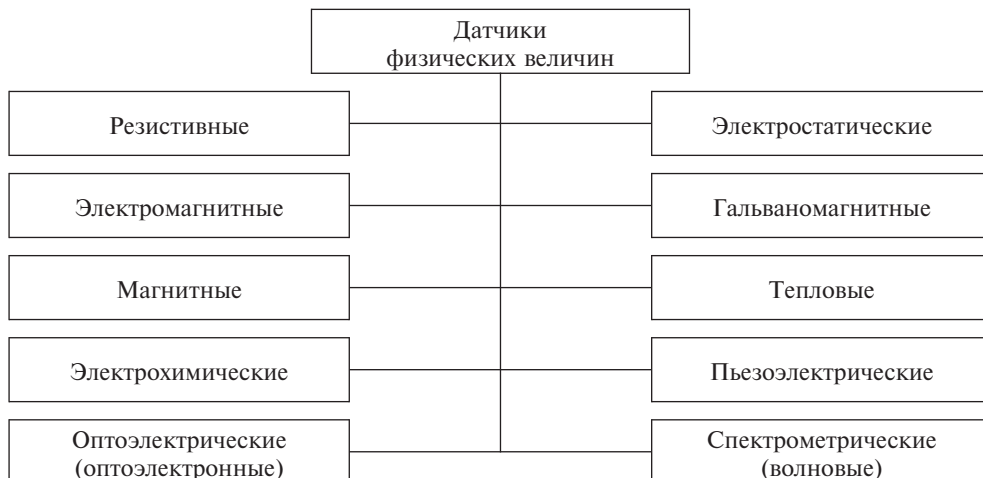


Рис. 1.4. Классификация датчиков по принципу действия

Кроме того, можно классифицировать датчики по виду измеряемых неэлектрических величин (рис. 1.5.) и электрических величин (рис. 1.6.).

По физическому принципу действия датчики (преобразователи) могут быть физическими (электрические, магнитные, тепловые, оптические, акустические и т.п.), химическими и комбинированными (физико-химические, электрохимические, биоэлектрические и т.п.). Принцип действия датчика определяется прежде всего тем, какая закономерность используется в нем. Однако существуют датчики, которые не относятся ни к одному из перечисленных классов, например, механоэлектрические. Эти датчики называются комбинированными.

По виду выходной величины и необходимости внешнего источника энергии датчики можно разделить на **генераторные** (активные), выходной величиной которых являются электрические величины (напряжение, заряд, ток, электродвижущая сила (ЭДС), и **параметрические** (пассивные), выходной величиной которых является сопротивление, индуктивность, емкость, диэлектрическая или магнитная проницаемость и т.п.

В **генераторных** датчиках внешний источник энергии не нужен. Например, в пьезоэлектрическом датчике под действием измеряемого усилия на электродах пьезоэлемента возникает электрический заряд (или электрическое напряжение).

В **параметрических** датчиках под действием измеряемой физической величины меняется какой-либо из параметров (например, электрическое сопротивление в тензорезисторах). Для получения выходного электрического сигнала требуется **источник энергии** (тока или напряжения). Таким образом, датчики могут иметь (или не иметь) вспомогательный источник энергии.