

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Глава 1	
Основные понятия метрологии	6
1.1. Термины и определения	6
1.2. Единицы физических величин	7
1.3. Методы и средства измерения	7
1.4. Погрешности измерений и измерительных приборов	15
1.5. Обработка результатов измерений	16
1.6. Надежность приборов и средств автоматизации	17
1.7. Государственная система приборов (ГСП)	20
Глава 2	
Измерительные преобразователи	23
2.1. Назначение и классификация измерительных преобразователей	23
2.2. Измерительные преобразователи неэлектрических величин	24
2.3. Измерительные преобразователи электрических величин	36
2.4. Аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи	36
2.5. Нормирующие преобразователи	38
2.6. Межсистемные преобразователи	40
Глава 3	
Вторичные приборы	41
3.1. Общие сведения	41
3.2. Логометры и милливольтметры	41
3.3. Автоматические компенсационные приборы	45
3.4. Приборы с цифровым выходом	52
3.5. Пневматические приборы	57
Глава 4	
Измерение температуры	60
4.1. Общие понятия	60
4.2. Термометры расширения	63
4.3. Манометрические термометры	64
4.4. Термопреобразователи сопротивления	69
4.5. Термоэлектрические преобразователи	74
4.6. Пирометры излучения	77
Глава 5	
Измерение давления и разрежения	80
5.1. Общие понятия	80
5.2. Жидкостные манометры	83
5.3. Деформационные манометры	86
5.4. Комплексы для измерения давления цифровых ИПДЦ	100
5.5. Комплекс преобразователей для измерения давления «Сапфир»	101
Глава 6	
Измерение расхода	106
6.1. Общие понятия	106
6.2. Расходомеры переменного перепада давления	106
6.3. Расходомеры обтекания	111
6.4. Электромагнитные расходомеры	114

6.5. Объемные счетчики	115
6.6. Скоростные счетчики	115
6.7. Ультразвуковые расходомеры	116
6.8. Тепловые расходомеры	117
6.9. Весы и весовые дозаторы	119

Глава 7

Измерение уровня	119
7.1. Общие понятия	119
7.2. Поплавковые и буйковые уровнемеры	122
7.3. Емкостные уровнемеры	126
7.4. Высокочастотные уровнемеры	128
7.5. Акустические уровнемеры	137
7.6. Радионуклидные уровнемеры	139

Глава 8

Определение состава и свойств веществ	139
8.1. Газоанализаторы	139
8.2. Хроматографы	145
8.3. Приборы для измерения вязкости	146
8.4. Приборы для измерения влажности	147
8.5. Приборы для измерения плотности	149
8.6. Потенциометрические анализаторы	151
8.7. Приборы для измерения концентрации растворов	152

Глава 9

Функциональные и регулирующие устройства	155
9.1. Общие сведения	155
9.2. Функциональные устройства электрические	166
9.3. Функциональные устройства пневматические	175
9.4. Регулирующие устройства электрические	181
9.5. Регулирующие устройства пневматические	187
9.6. Вспомогательные устройства к регулирующим устройствам	189
9.7. Системные модули автоматических систем регулирования на базе комплекса АКЭСР	191

Глава 10

Исполнительные устройства	200
10.1. Общие сведения	200
10.2. Электрические исполнительные механизмы (ЭИМ)	202
10.3. Электроприводы трубопроводной арматуры	210
10.4. Пневматические исполнительные устройства	215
10.5. Трубопроводная арматура	218

Глава 11

Вычислительные средства автоматизации	223
11.1. Особенности применения ЭВМ в автоматизированных системах управления	223
11.2. Управляющие вычислительные комплексы	227
11.3. Агрегатный комплекс средств вычислительной техники ГСП	229
11.4. Система малых ЭВМ	233
11.5. Единая система электронных вычислительных машин	235
11.6. Применение микро-ЭВМ в системах управления	241

Глава 12

Щиты и пульты систем автоматизации	243
12.1. Основные технические данные щитов и пультов	243
12.2. Требования к установке приборов на щитах и пультах	246
12.3. Электрический монтаж приборов и аппаратов в щитах и пультах	247
Список рекомендуемой литературы	250

ПРЕДИСЛОВИЕ

Характерная черта научно-технической революции — дальнейшее совершенствование средств и систем автоматизации управления технологическими процессами. Задача разработки систем автоматического управления состоит в том, чтобы, располагая сведениями об объекте управления и заданными требованиями к системе управления в целом, выбрать технические средства и составить схему системы, обеспечивающую реализацию этих требований. Специалисты, разрабатывающие системы управления, должны располагать достаточно полными сведениями об элементах и устройствах, из которых они могут быть синтезированы. Кроме того, успешное внедрение и функционирование систем автоматического управления возможно только при условии высокой культуры технической эксплуатации приборов и устройств автоматики, т. е. при наличии высококвалифицированного эксплуатационного персонала.

Задача настоящего справочника — дать читателю основные сведения, необходимые при разработке и реализации систем автоматического контроля и управления. В справочнике приведены технические характеристики измерительных преобразователей, вторичных приборов, функциональных, регулирующих и исполнительных устройств, а также электронных вычислительных машин и средств сопряжения ЭВМ с объектами управления.

Существующие справочники доступны по своей сложности только для высококвалифицированных специалистов. Особенностью данного справочника является то, что впервые сделана попытка создать справочник-учебник, который может быть использован для изучения приборов и средств автоматизации. В нем содержатся наряду с техническими характеристиками вопросы надежности. Кроме того, в справочнике систематизирован материал по основным понятиям метрологии, по наиболее часто встречающимся на практике терминам и определениям, единицам измерения, обработке результатов измерений и т. д., достаточно подробно приведены сведения по принципу действия приборов и устройств.

Справочник предназначен для подготовки и повышения квалификации прибористов и может быть полезен учащимся профессионально-технических училищ и техникумов по специальности, связанной с автоматизацией промышленных процессов.

Авторы

Глава 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МЕТРОЛОГИИ

1.1. Термины и определения

Метрология — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. К основным проблемам метрологии относятся: общая теория измерений; единицы физических величин и их системы; методы и средства измерений; методы определения точности измерений; основы обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений; эталоны и образцовые средства измерений; методы передачи размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средствам измерений.

Физическая величина — свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта.

Размер физической величины — количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию «физическая величина».

Значение физической величины — оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц. Отвлеченное число, входящее в значение физической величины, называется числовым значением.

Истинное значение физической величины — значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношении соответствующее свойство объекта.

Действительное значение физической величины — значение физической величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.

Размерность физической величины — выражение, отражающее связь величины с основными величинами системы, в котором коэффициент пропорциональности принят равным 1.

Размерность физической величины представляет собой произведение основных величин, возведенных в соответствующие степени.

Размерная физическая величина — величина, в размерности которой хотя бы одна из основных величин возведена в степень, не равную нулю.

Безразмерная физическая величина — величина, в размерность которой основные величины входят в степени, равной нулю.

Эталон единицы — средство измерений (или комплект средств измерений), обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение единицы с целью передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений, выполненное по особой спецификации и официально утвержденное в установленном порядке в качестве эталона.

Образцовое средство измерений — мера, измерительный прибор или измерительный преобразователь, служащие для поверки по ним других средств измерений и утвержденные в качестве образцовых.

Поверочная установка — измерительная установка, укомплектованная образцовыми средствами измерений и предназначенная для поверки других средств измерений.

Рабочее средство измерений — средство измерений, применяемое для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

Поверочная схема — утвержденный в установленном порядке документ, устанавливающий средства, методы и точность передачи размера единицы от эталона или исходного образцового средства измерений рабочим средствам измерений.

Метрологическая служба — сеть государственных и ведомственных метрологических органов и их деятельность, направленная на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений в стране.

Поверка средства измерений — определение метрологическим органом погрешностей средства измерений и установление его пригодности к применению.

Градуировка средства измерений — определение градуировочной характеристики средства измерений.

1.2. Единицы физических величин

Единица физической величины — физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное 1.

Основная единица физической величины — единица основной физической величины, выбранная произвольно при построении системы единиц.

Производная единица физической величины — образуемая по определяющему эту единицу уравнению из других единиц данной системы единиц.

Система единиц физических величин — совокупность основных и производных единиц, относящаяся к некоторой системе величин и образованная в соответствии с принятыми принципами.

Пример. Международная система единиц (СИ).

Системная единица физических величин — основная или производная единица системы единиц.

Основные единицы физических величин и некоторые производные единицы Международной системы единиц (СИ) приведены в табл. 1.1.

Внесистемная единица физической величины — единица, не входящая ни в одну из систем единиц.

Кратная единица физической величины — единица, в целое число раз большая системной или внесистемной единицы.

Дольная единица физической величины — единица, в целое число раз меньшая системной или внесистемной единицы.

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц приведены в табл. 1.2.

1.3. Методы и средства измерения

Измерение — нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Т а б л и ц а 1.1. Единицы физических величин

Величина (размерность)	Единица	
	Наименование	Обозначение
Основные единицы		
Длина (L)	метр	м
Масса (M)	килограмм	кг
Время (T)	секунда	с
Сила электрического тока (I)	ампер	А
Термодинамическая температура (θ)	кельвин	К
Сила света (J)	кандела	кд
Количество вещества (N)	моль	моль
Дополнительные единицы		
Плоский угол	радиан	рад
Телесный угол	стерадиан	ср
Основные производные единицы		
Частота (T^{-1})	герц	Гц
Скорость (LT^{-1})	метр в секунду	м/с
Угловая скорость (T^{-1})	радиан в секунду	рад/с
Ускорение (LT^{-2})	метр на секунду в квадрате	м/с ²
Угловое ускорение (T^{-2})	радиан на секунду в квадрате	рад/с ²
Кинематическая вязкость (L^2T^{-1})	квадратный метр на секунду	м ² /с
Объемный расход (L^3T^{-1})	кубический метр на секунду	м ³ /с
Сила, вес (LMT^{-2})	ньютон	Н
Плотность ($L^{-3}M$)	килограмм на кубический метр	кг/м ³
Удельный объем (L^3M^{-1})	кубический метр на килограмм	м ³ /кг
Давление, механическое напряжение, модуль упругости ($L^{-1}MT^{-2}$)	паскаль	Па
Динамическая вязкость ($L^{-1}MT^{-1}$)	паскаль-секунда	Па·с
Работа, энергия, количество теплоты (L^2MT^{-2})	джоуль	Дж
Мощность, поток энергии (L^2MT^{-3})	ватт	Вт
Температурный градиент ($L^{-1}\theta$)	кельвин на метр	К/м
Теплоемкость системы, энтропия системы ($L^2MT^{-2}\theta^{-1}$)	джоуль на кельвин	Дж/К
Коэффициент теплопередачи ($MT^{-3}\theta^{-1}$)	ватт на квадратный метр-кельвин	Вт/(м ² ·К)
Поверхностная плотность потока (MT^{-3})	ватт на квадратный метр	Вт/м ²
Теплопроводность ($LMT^{-3}\theta^{-1}$)	ватт на метр-кельвин	Вт/(м·К)
Плотность электрического тока (поверхностная) ($L^{-2}I$)	ампер на квадратный метр	А/м ²
Количество электричества, электрический заряд (TI)	кулон	Кл

Величина (размерность)	Единица	
	Наименование	Обозначение
Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила ($L^2MT^{-3}I^{-1}$)	вольт	В
Напряженность электрического поля ($LMT^{-3}I^{-1}$)	вольт на метр	В/м
Электрическое сопротивление ($L^2MT^{-3}I^{-2}$)	ом	Ом
Удельное электрическое сопротивление ($L^3MT^{-3}I^{-2}$)	ом-метр	Ом·м
Электрическая проводимость ($L^{-2}M^{-1}T^3I^2$)	сименс	См
Удельная электрическая проводимость ($L^{-3}M^{-1}T^3I^2$)	сименс на метр	См/м
Электрическое смещение ($L^{-2}TI$)	кулон на квадратный метр	Кл/м ²
Абсолютная диэлектрическая проницаемость (сокращенно — диэлектрическая проницаемость) ($L^{-3}M^{-1}T^4I^2$)	фарад на метр	Ф/м
Электрическая емкость ($L^{-2}M^{-1}T^4I^2$)	фарад	Ф
Магнитный поток ($L^2MT^{-2}I^{-1}$)	вебер	Вб
Индуктивность, взаимная индуктивность ($L^2MT^{-2}I^{-2}$)	генри	Гн
Магнитная индукция, плотность магнитного потока ($MT^{-2}I^{-1}$)	тесла	Тл
Напряженность магнитного поля ($L^{-1}I$)	ампер на метр	А/м
Магнитодвижущая сила, разность магнитных потенциалов (I)	ампер	А
Абсолютная магнитная проницаемость ($LMT^{-2}I^{-2}$)	генри на метр	Гн/м
Магнитное сопротивление ($L^{-2}M^{-1}T^2I^2$)	ампер на вебер	А/Вб
Активная мощность (L^2MT^{-3})	ватт	Вт
Реактивная мощность (L^2MT^{-3})	вар	вар
Полная мощность (L^2MT^{-3})	вольт-ампер	В·А

Прямое измерение — измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных.

Косвенное измерение — измерение, при котором искомое значение величины находят на основании зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

Принцип измерений — совокупность физических явлений, на которых основаны измерения.

Метод измерений — совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

Таблица 1.2. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц

Множитель	Приставка	Обозначение	Множитель	Приставка	Обозначение
10^{18}	экса	Э	10^{-1}	деци	д
10^{15}	пета	П	10^{-2}	сантн	с
10^{12}	тера	Т	10^{-3}	милли	м
10^9	гига	Г	10^{-6}	микро	мк
10^6	мега	М	10^{-9}	нано	н
10^3	кило	к	10^{-12}	пико	п
10^2	гекто	г	10^{-15}	фемто	ф
10^1	дека	да	10^{-18}	атто	а

Средство измерений — техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства.

Мера — средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.

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

Аналоговый измерительный прибор — измерительный прибор, показания которого являются непрерывной функцией изменений измеряемой величины.

Цифровой измерительный прибор — измерительный прибор, автоматически вырабатывающий дискретные сигналы измерительной информации, показания которого представлены в цифровой форме.

Показывающий измерительный прибор — измерительный прибор, допускающий только отсчитывание показаний.

Регистрирующий измерительный прибор — измерительный прибор, в котором предусмотрена регистрация показаний.

Интегрирующий измерительный прибор — измерительный прибор, в котором подводимая величина подвергается интегрированию по времени или по другой независимой переменной.

Показания средства измерений — значение величины, определяемое по отсчетному устройству и выраженное в принятых единицах этой величины.

Градуировочная характеристика средства измерений — зависимость между значениями величин на выходе и входе средства измерений, составленная в виде таблицы, графика или формулы.

Диапазон показаний — область значений шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы.

Диапазон измерений — область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерений.

Предел измерений — наибольшее или наименьшее значение диапазона измерений.

Чувствительность измерительного прибора — отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к вызывающему его изменению измеряемой величины.

Измерительные приборы подразделяют по ряду признаков: по роду измеряемых величин (термометры, манометры, расходомеры, уровнемеры, газоанализаторы).

ры и т. д.); по назначению (рабочие, образцовые, эталонные); по характеру показаний (показывающие, регистрирующие, интегрирующие); по форме представления показаний (аналоговые, цифровые); по принципу действия (механические, электрические, пневматические); по характеру использования (оперативные, учетные, расчетные); по условиям работы (стационарные, переносные); по габаритам (полногабаритные, малогабаритные, миниатюрные).

На функциональных схемах автоматизации измерительные приборы, установленные по месту, обозначаются окружностью, а приборы, установленные на щите

1	TE	TI	TI	TT	TR	TIR	TRC	TC	
9	TRK TC	TS	HC	HC	PI	PDI	PT	PR	
17	PS	PIS	PC	FE	FT	FFR	FT	FQI	
25	FQI	FQIS	LE	LI	LS	LT	LCS ^H	LIA ^H L	
33	DT	GI	EI	EI ^V	EI ^A	EI ^W	KS	MR	
41	QE ^{pH}	QI ^{O₂}	H ₂ SO ₄ QRC	RIA ^{α,β}	SR	U=f(F,P,T)	UR	VI	WIA
49	BS	E/E TY	P/E PY	K FY	NS	H	HA	HS	
								S101-2	

Рис. 1.1. Примеры построения условных обозначений

или пульте — окружностью, разделенной горизонтальным диаметром. Диаметр окружности 10 мм. В обоих случаях в верхней части заглавными буквами латинского алфавита указываются обозначения измеряемых величин, функций и функциональных признаков, в нижней — номер позиции в схеме.

Обозначения измеряемых величин: *D* — плотность; *E* — любая электрическая величина; *F* — расход; *G* — размер, положение, перемещение; *H* — ручное воздействие; *K* — время, временная программа; *L* — уровень; *M* — влажность; *P* — давление, вакуум; *Q* — качество (состав, концентрация и т. п.); *R* — радиоактивность; *S* — скорость, частота; *T* — температура; *U* — несколько разнородных величин, измеряемых одним прибором; *V* — вязкость; *W* — масса; *X* — резервная буква.

Для уточнения значений измеряемой величины и указания ее пределов применяют обозначения: *D* — разность, перепад; *F* — соотношение, доля, дробь; *H* — верхний предел измеряемой величины; *I* — автоматическое переключение, обегание; *L* — нижний предел измеряемой величины; *Q* — интегрирование, суммирование по времени.

Функции, выполняемые приборами, обозначаются заглавными буквами латинского алфавита: *A* — сигнализация; *C* — регулирование, управление; *I* — показание; *R* — регистрация; *S* — включение, отключение, переключение.

Обозначения функциональных признаков приборов; *E* — первичный преобразователь; *T* — прибор с дистанционной передачей показаний; *K* — прибор со станцией управления; *Y* — преобразователь сигналов.

Последовательность буквенных обозначений должна быть следующей: 1) обозначение измеряемой величины; 2) обозначение, уточняющее измеряемую величину; 3) обозначение функции и функционального признака.

Если функций несколько, то их обозначения должны располагаться в следующем порядке: *IRCSA*.

На рис. 1.1 приведены примеры построения условных обозначений следующих приборов и средств автоматизации: *1* — первичный измерительный преобразователь для измерения температуры, установленный по месту (термоэлектрический преобразователь, термопреобразователь сопротивления, термобаллон манометрического термометра, датчик пирометра и т. п.); *2* — прибор для измерения температуры, показывающий, установленный по месту (термометр ртутный, термометр манометрический и т. п.); *3* — прибор для измерения температуры, показывающий, установленный на щите (милливольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический и т. п.); *4* — прибор для измерения температуры, бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту (термометр манометрический бесшкальный с пневмо- или электропередачей); *5* — прибор для измерения температуры, одноточечный, регистрирующий, установленный на щите (милливольтметр самопишущий, логометр, потенциометр, мост автоматический и т. п.); *6* — прибор для измерения температуры с автоматическим обеганием устройством, регистрирующий, установленный на щите (потенциометр многоточечный регистрирующий, мост автоматический и т. п.); *7* — прибор для измерения температуры, регистрирующий, регулирующий, установленный на щите (термометр манометрический, милливольтметр, потенциометр, мост автоматический и т. п.); *8* — регулятор температуры, бесшкальный, установленный по месту (например, дилатометрический регулятор температуры); *9* — комплект для измерения температуры, регистрирующий, регулирующий, снабженный станцией управления, установленный на щите (например, вторичный прибор и регулирующий блок системы «Старт»); *10* — прибор для измерения температуры, бесшкальный, с контактным устройством, установленный по месту (например, реле температурное); *11* — байпасная панель дистанционного управления, установленная на щите; *12* — переключатель электрических цепей измерения (управления), переключатель для газовых (воздушных) линий, установленный на щите; *13* — прибор для измерения давления (разрежения), показывающий, установленный по месту (любой показывающий манометр, дифманометр, тягомер, напорометр, вакуумметр и т. п.); *14* — прибор для измерения перепада давления, показывающий, установленный по месту (например, дифманометр показывающий); *15* — прибор для измерения давления (разрежения), бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту (например, манометр, дифманометр бесшкальный с пнев-

мо- или электропередачей); 16 — прибор для измерения давления (разрежение), регистрирующий, установленный на щите (например, самопишущий манометр или любой вторичный прибор для регистрации давления); 17 — прибор для измерения давления с контактным устройством, установленный по месту (например, реле давления); 18 — прибор для измерения давления (разрежение), показывающий, с контактным устройством, установленный по месту (электроконтактный манометр, вакуумметр и т. п.); 19 — регулятор давления прямого действия «до себя»; 20 — первичный измерительный преобразователь для измерения расхода, установленный по месту (диафрагма, сопло, труба Вентури, датчик индукционного расходомера и т. п.); 21 — прибор для измерения расхода, бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту (например, бесшкальный дифманометр или ротаметр с пневмо- или электропередачей); 22 — прибор для измерения соотношения расходов, регистрирующий, установленный на щите (любой вторичный прибор для регистрации соотношения расходов); 23 — прибор для измерения расхода, показывающий, установленный по месту (например, дифманометр или ротаметр показывающий); 24 — прибор для измерения расхода, интегрирующий, показывающий, установленный по месту (любой счетчик-расходомер с интегратором); 25 — прибор для измерения расхода, показывающий, интегрирующий, установленный на щите (например, показывающий дифманометр с интегратором); 26 — прибор для измерения расхода, интегрирующий, с устройством для выдачи сигнала после прохождения заданного количества вещества, установленный по месту (например, счетчик-дозатор); 27 — первичный измерительный преобразователь для измерения уровня, установленный по месту (например, датчик электрического или емкостного уровнемера); 28 — прибор для измерения уровня, показывающий, установленный по месту (например, манометр или дифманометр, используемый для измерения уровня); 29 — прибор для измерения уровня с контактным устройством, установленный по месту (реле уровня); 30 — прибор для измерения уровня, бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту (например, уровнемер бесшкальный с пневмо- или электропередачей); 31 — прибор для измерения уровня, бесшкальный, регулирующий, с контактным устройством, установленный по месту (например, электрический регулятор-сигнализатор уровня с блокировкой по верхнему уровню); 32 — прибор для измерения уровня, показывающий, с контактным устройством, установленный на щите (например, вторичный показывающий прибор с сигнализацией верхнего и нижнего уровня); 33 — прибор для измерения плотности раствора, бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту (например, датчик плотномера с пневмо- или электропередачей); 34 — прибор для измерения размеров, показывающий, установленный по месту (например, толщиномер); 35 — прибор для измерения любой электрической величины, показывающий, установленный по месту; 36 — вольтметр; 37 — амперметр; 38 — ваттметр; 39 — прибор для управления процессом по временной программе, установленной на щите (командный пневматический прибор, многоцепное реле времени и т. п.); 40 — прибор для измерения влажности, регистрирующий, установленный на щите (например, вторичный прибор влагомера); 41 — первичный измерительный преобразователь для измерения качества продукта, установленный по месту (например, датчик рН-метра); 42 — прибор для измерения качества продукта, показывающий, установленный по месту (например, газоанализатор на кислород); 43 — прибор для измерения качества продукта, регистрирующий, регулирующий, установленный на щите (например, вторичный самопишущий прибор регулятора концен-

трация серной кислоты в растворе); 44 — прибор для измерения радиоактивности, показывающий, с контактным устройством, установленный по месту (например, прибор для показания и сигнализации предельно допустимых значений α - и β -излучений); 45 — прибор для измерения частоты вращения привода, регистрирующий, установленный на щите (например, вторичный прибор тахогенератора); 46 — прибор для измерения нескольких разнородных величин, регистрирующий, установленный по месту (например, самопишущий дифманометр-расходомер с дополнительной записью давления и температуры); 47 — прибор для измерения вязкости раствора, показывающий, установленный по месту (например, вискозиметр показывающий); 48 — прибор для измерения массы продукта, показывающий,

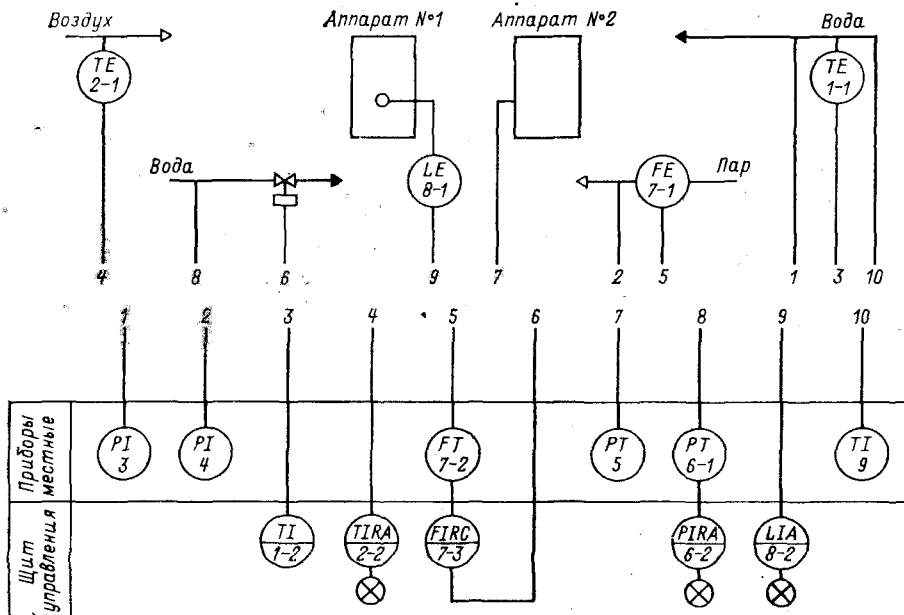


Рис. 1.2. Функциональная схема автоматизации

с контактным устройством, установленный по месту (например, устройство электроно-тензометрическое сигнализирующее); 49 — прибор для контроля погасания факела в печи, бесшкальный, с контактным устройством, установленный на щите (например, вторичный прибор запально-защитного устройства; применение резервной буквы *B* должно быть оговорено на поле схемы); 50 — преобразователь сигнала, установленный на щите (входной сигнал электрический, выходной сигнал тоже электрический; например, нормирующий преобразователь); 51 — преобразователь сигнала, установленный по месту (входной сигнал пневматический, выходной — электрический); 52 — вычислительное устройство, выполняющее функцию умножения на постоянный коэффициент *K*; 53 — пусковая аппаратура для управления электродвигателем (например, магнитный пускатель, контактор и т. п.; применение резервной буквы *N* должно быть оговорено на поле схемы); 54 — аппаратура, предназначенная для ручного дистанционного управления, установ-

ленная на щите (кнопка, ключ управления, задатчик и т. п.); 55 — аппаратура, предназначенная для ручного дистанционного управления, снабженная устройством для сигнализации, установленная на щите; 56 — ключ управления, предназначенный для выбора управления, установленный на щите (пример приведен для иллюстрации случая, когда позиционное обозначение велико и поэтому наносится вне окружности).

Примеры применения данных условных обозначений в функциональных схемах автоматизации приведены на рис. 1.2.

1.4. Погрешности измерений и измерительных приборов

Погрешность измерения — отклонение результата от истинного значения измеряемой величины.

Абсолютная погрешность измерения — погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины.

Относительная погрешность измерения — отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины.

Относительная погрешность может быть выражена в процентах.

Систематическая погрешность измерения — составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

Случайная погрешность измерения — составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.

Абсолютная погрешность измерительного прибора — разность между показанием прибора и истинным значением измеряемой величины.

В связи с тем, что истинное значение величины остается неизвестным, на практике вместо него пользуются действительным значением величины.

Приведенная погрешность измерительного прибора — отношение погрешности измерительного прибора к нормирующему значению.

Статическая погрешность средства измерений — погрешность средства измерений, используемого для измерения постоянной величины.

Динамическая погрешность средства измерений — разность между погрешностью средства измерений в динамическом режиме и его статической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент времени.

Систематическая погрешность средства измерений — составляющая погрешности средства измерений, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся.

Случайная погрешность средства измерений — составляющая погрешности средства измерений, изменяющаяся случайным образом.

Основная погрешность средства измерений — погрешность средства измерений, используемого в нормальных условиях.

Класс точности средства измерений — обобщенная характеристика средства измерений, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерений.

Наиболее широко применяется система обозначения класса точности, в которой число, обозначающее класс точности, равно предельно допускаемому значению основной погрешности прибора, выраженной в процентах. Так, основная погрешность прибора класса 2,5 не должна превышать $\pm 2,5\%$. Применяются также системы обозначений, в которых цифра, обозначающая класс, не связана с величинами допускаемых погрешностей. Например, для нормальных элементов и термопреобразователей сопротивлений стандартами установлены классы, обозначаемые I, II и III. Меры и приборы для измерения длин и углов делятся на классы, обозначаемые 0, 1, 2, 3.

1.5. Обработка результатов измерений

Последовательность операций при прямых измерениях:

1. Вычислить среднее арифметическое значение из n измерений

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i, \quad (1.1)$$

где a_i — результат отдельного измерения.

2. Найти погрешность отдельных измерений

$$\Delta a_i = \bar{a} - a_i. \quad (1.2)$$

3. Найти среднюю квадратическую погрешность измерений

$$\Delta S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta a_i)^2 / [n(n-1)]}. \quad (1.3)$$

4. Задать значение доверительной вероятности P_s (значение надежности результата серии измерений) из ряда 0,90; 0,95; 0,98; 0,99; 0,999.

5. По табл. 1.3 определять коэффициент Стьюдента t_s .

Т а б л и ц а 1.3. Коэффициент Стьюдента

Число измерений	t_s для P_s				
	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
2	6,31	12,70	31,80	63,70	636,60
3	2,92	4,30	6,96	9,92	31,60
4	2,35	3,18	4,54	5,84	12,94
5	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
6	2,02	2,57	3,36	4,03	6,86
7	1,94	2,45	3,14	3,71	5,94
8	1,90	2,36	3,00	3,50	5,40
9	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04
10	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78
20	1,73	2,09	2,72	2,86	3,88
∞	1,64	1,96	2,33	2,58	3,39

6. Найти границы доверительного интервала

$$\Delta a = t_s \Delta S. \quad (1.4)$$

7. Если погрешность результата измерений Δa окажется сравнимой с погрешностью прибора, то в качестве границы доверительного интервала следует взять

$$\Delta a = \sqrt{(t_s \Delta S)^2 + (t_s^\infty / 3)^2 f_a^2} \quad (1.5)$$

где $t_s^\infty = t_s$ при $n = \infty$; f_a — погрешность прибора.

8. Окончательный результат записать в виде

$$a = \bar{a} \pm \Delta a. \quad (1.6)$$

9. Определить относительную погрешность результата измерений, %.

$$\delta = (\Delta a / \bar{a}) 100. \quad (1.7)$$

1.6. Надежность приборов и средств автоматизации

Надежность приборов и средств автоматизации определяется следующими составляющими: безотказностью, ремонтпригодностью, долговечностью и сохраняемостью.

Безотказность — свойство непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого интервала времени.

Ремонтпригодность — приспособленность устройств к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов и устранению их путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Долговечность — свойство сохранять работоспособность с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов до наступления некоторого предельного состояния.

Сохраняемость — свойство непрерывно сохранять работоспособность после хранения и транспортирования.

Надежность восстанавливаемых устройств определяется их безотказностью и сохраняемостью. Долговечность отождествляется с безотказностью, что не имеет места у восстанавливаемых устройств.

Показатели безотказности восстанавливаемых устройств (рис. 1.3):

Вероятность безотказной работы $P(t)$ — вероятность того, что за время t не наступит отказ.

*Средняя наработка до отказа t_{cp}^** — математическое ожидание времени работы до первого отказа.

Плотность отказов $\lambda(t)$ — плотность вероятности возникновения отказа, определяемая для момента t при условии, что до этого момента отказ не возник.

Согласно ГОСТ 13216—74 выбор показателей безотказности восстанавливаемых устройств ГСП зависит от закона распределения времени безотказной работы. При экспоненциальном законе в качестве показателя выбирается либо $P(t)$ для заданного времени t , либо λ , либо t_{cp}^* ; при нормальном (гауссовском) законе — $P(t)$ для заданного времени t и t_{cp}^* ; при прочих законах, а также в том случае, когда вид закона распределения неизвестен, — $P(t)$ и $P(t/2)$.

Выбор показателей безотказности восстанавливаемых устройств (рис. 1.3) также зависит от закона распределения времени между отказами. При экспоненциальном распределении этими показателями являются вероятность безотказной работы $P(t)$ за заданное время t , или параметр потока отказов $\omega(t)$, или наработка на отказ t_{cp} — математическое ожидание времени между соседними отка-

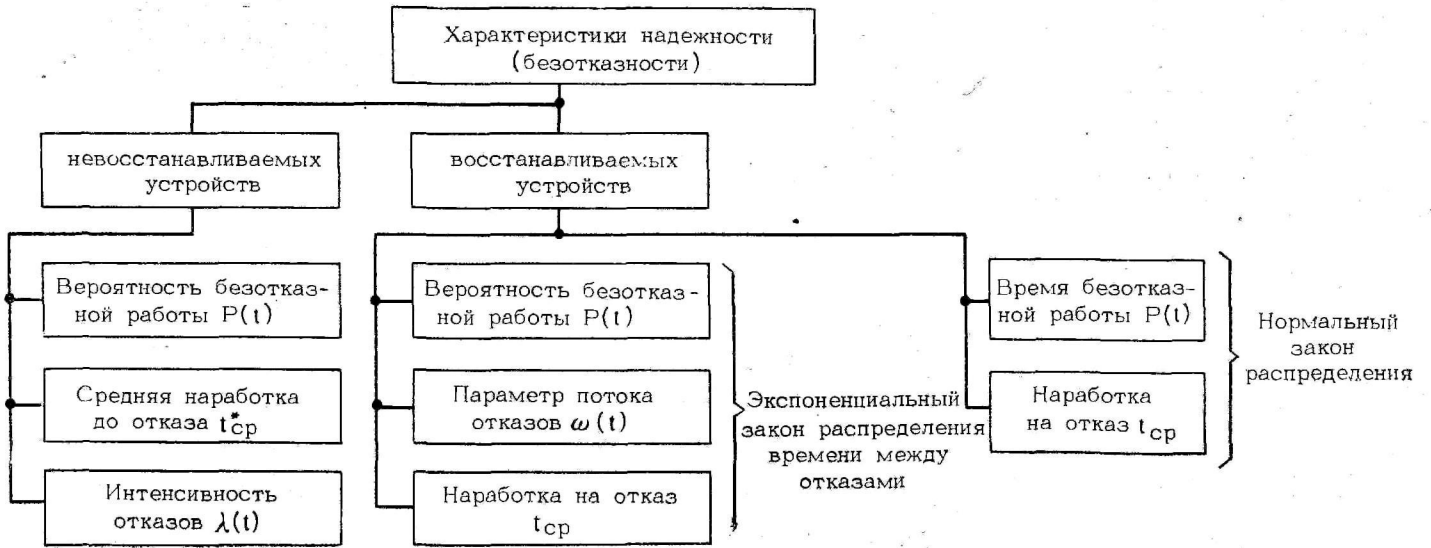


Рис. 1.3. Показатели надежности

Таблица 1.4. Расчет показателей надежности

Вид соединения элементов в устройстве	Последовательный	Параллельный
Схема	<p style="text-align: center;">k — число элементов</p>	
Вероятность безотказной работы устройства	$P(t) = \prod_{i=1}^k P_i(t), P_i(t) \text{ — вероятность безотказной работы } i\text{-го элемента}$	$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^k [1 - P_i(t)]$
Закон распределения времени безотказной работы устройства*	$P(t) = \exp\left(-t \sum_{i=1}^k \lambda_i\right), \lambda_i \text{ — интенсивность отказов } i\text{-го элемента}$	$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^k [1 - \exp(-\lambda_i t)], \text{ при } \lambda_i = \lambda_0 (i=1, 2, \dots, k)$ $P(t) = 1 - [1 - \exp(-\lambda t)]^k$
Средняя наработка до отказа*	$t_{cp}^* = \frac{1}{\lambda}; \lambda = \sum_{i=1}^k \lambda_i$	$t_{cp}^* = \frac{1}{\lambda_0} \sum_{i=1}^k \frac{1}{i}$

* Распределение времени безотказной работы элементов подчинено экспоненциальному закону.

зами. При нормальном законе распределения должны задаваться два показателя — $P(t)$ и $t_{ср}$, при прочих законах — $P(t)$ и $P(t/2)$.

Ремонтопригодность устройств характеризуется временем восстановления, которое складывается из времени, затраченного на обнаружение (поиск) причины отказа, и времени, затраченного на его устранение.

Показатели долговечности приборов и устройств:

средний срок службы (средняя календарная продолжительность эксплуатации от начала до наступления предельного состояния);

средний ресурс (средняя наработка от начала эксплуатации до наступления предельного состояния);

гамма-процентный ресурс (наработка, в течение которой устройство не достигнет предельного состояния с вероятностью γ процентов).

В номенклатуру показателей надежности должен быть включен по крайней мере один из перечисленных показателей долговечности.

Показатель сохраняемости — гамма-процентный срок сохраняемости. Этот показатель включается в техническую документацию по согласованию с заказчиком. Значения этого показателя (при $\gamma=90, 95, 98\%$) должны выбираться из ряда 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 15 лет.

Каждый из приведенных выше показателей отражает только одну составляющую надежности. Кроме них, возможно применение и комплексных показателей, описывающих несколько составляющих.

Определение показателей надежности приборов и устройств проводится аналитическим или экспериментальным методом либо их комбинацией.

Расчет надежности устройств выполняется на стадии их разработки. Исходными данными для расчета служат: перечень элементов, на которые можно расчленить устройство, и схема их соединения; режимы работы (нагрузки, температура, число включения и т. п.) каждого элемента; показатели надежности элементов, соответствующие имеющимся режимам работы; формулировка понятия «отказ устройства».

В наиболее простом случае расчета отказы элементов независимы и отказ любого из элементов приводит к отказу всего устройства. Этому соответствует так называемая последовательная надежностная схема включения элементов, а соединение элементов называется основным. Расчетные формулы для определения показателей надежности в этом случае, а также в случае параллельного соединения элементов в устройстве приведены в табл. 1.4.

1.7. Государственная система приборов (ГСП)

Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП) представляет собой эксплуатационно, информационно, метрологически и конструктивно организованную совокупность изделий, предназначенных для использования в промышленности в качестве технических средств автоматических и автоматизированных систем контроля, измерения, регулирования и управления технологическими процессами.

Системные принципы (рис. 1.4), положенные в основу построения ГСП, позволили экономически и технически рационально решить проблему обеспечения техническими средствами АСУТП.

ГСП представляет собой большой и сложный комплекс приборов и устройств. Структура ГСП не может быть представлена в виде одной двухмерной схемы.

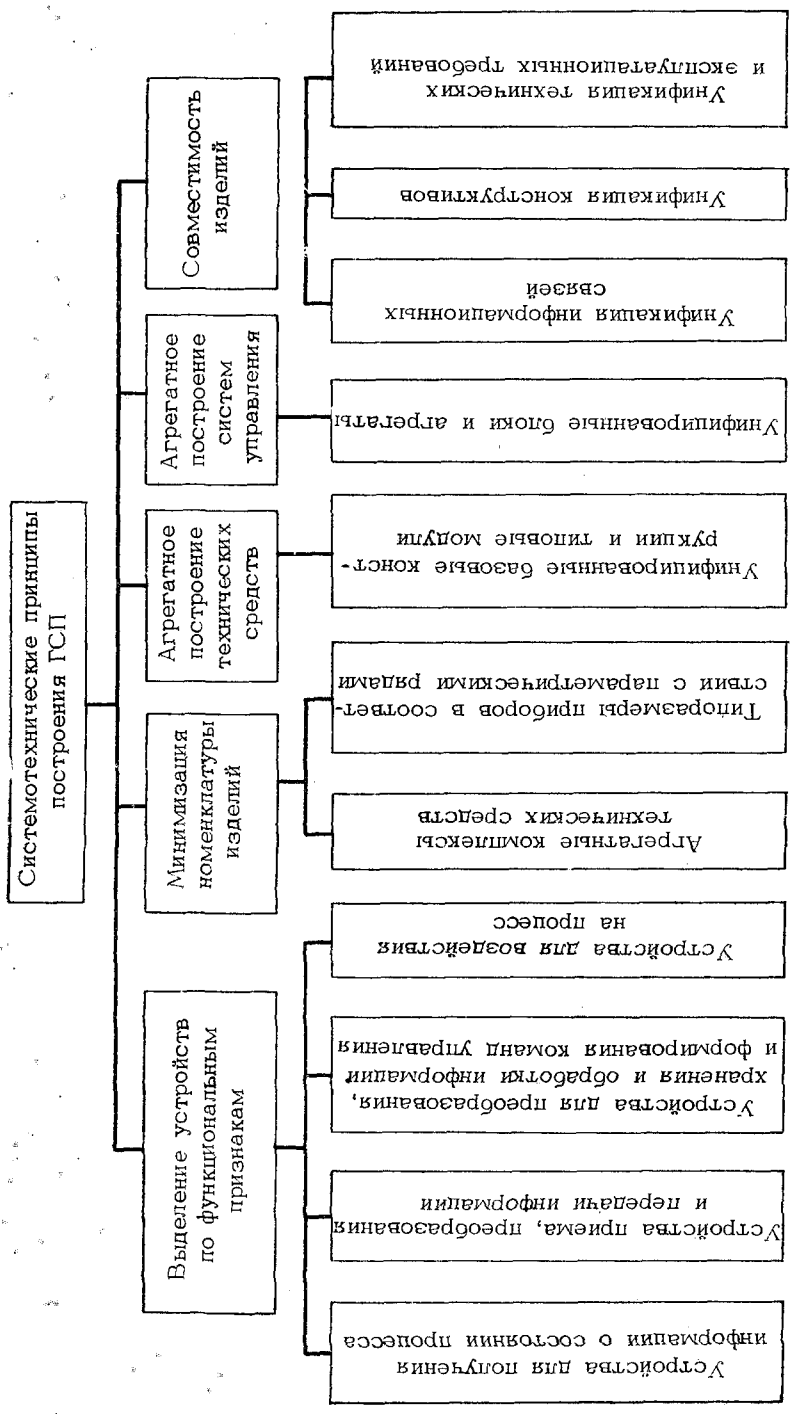


Рис. 1.4. Системотехнические принципы построения ГСП

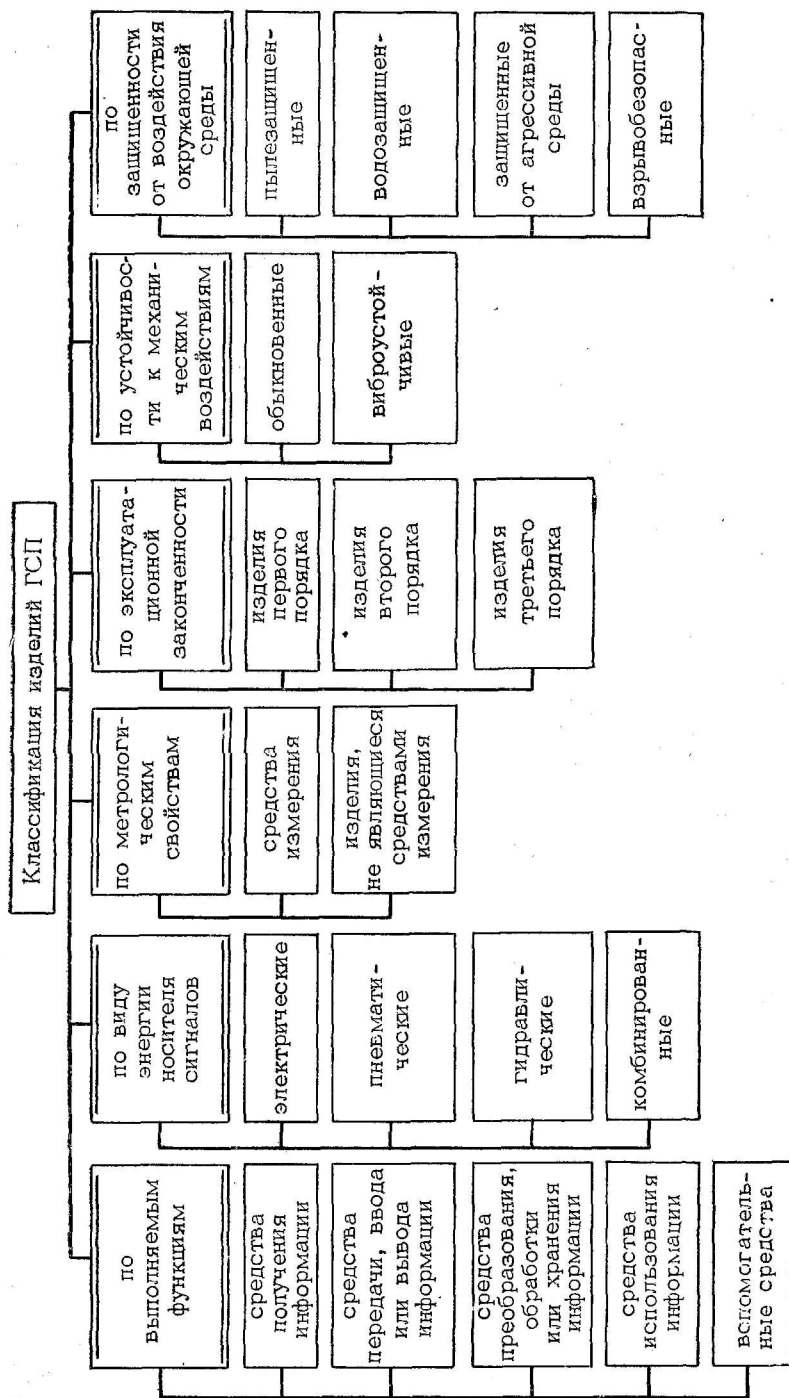


Рис. 1.5. Классификация изделий ГСП

В зависимости от признака, положенного в основу построения структурной схемы, ГСП может быть представлена в виде нескольких структурных схем. На рис. 1.5 показана структурная схема, в которой для классификации устройств использованы такие свойства: метрологические, по выполняемым функциям и др.

Глава 2

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

2.1. Назначение и классификация измерительных преобразователей

Измерительный преобразователь — техническое устройство, построенное на определенном физическом принципе действия, выполняющее одно частное измерительное преобразование.

Согласно ГОСТ 16263—70 измерительным преобразователем называют средство измерения, служащее для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. Алгоритм функционирования измерительного преобразователя выражается однозначной функциональной зависимостью между двумя физическими величинами x и y :

$$y = f(x),$$

где $x = x(t)$, $y = y(t)$ — сигналы на входе и выходе измерительного преобразователя соответственно.

В зависимости от физической величины сигналов на входе и выходе измерительные преобразователи можно подразделить на следующие группы:

1. *Измерительные преобразователи неэлектрических величин*, имеющие на входе и выходе физически различные величины. Они преобразуют в электрическую величину различные неэлектрические величины: давление, расход, температуру и т. д. и являются первичными измерительными преобразователями.

2. *Измерительные преобразователи электрических величин*, имеющие на входе и выходе одинаковые физические величины (делители напряжения, измерительные трансформаторы и др.).

3. *Измерительные преобразователи структуры* (аналого-цифровые, цифроаналоговые, преобразователи кода и др.).

К измерительным преобразователям относятся также *нормирующие и межсистемные преобразователи*.

В *нормирующих преобразователях* на вход подаются неэлектрические сигналы различных величин, а на выходе формируются унифицированные сигналы ГСП (государственной системы приборов и средств автоматизации). В ГСП обеспечивается унификация сигналов связи, т. е. регламентация параметров, определяющих величину и характер этих сигналов. Однако большое количество измерительных преобразователей неэлектрических величин имеет естественные выходные сигналы, параметры которых не соответствуют параметрам унифицированных сигналов ГСП. К таким преобразователям относятся, например, термодпары и терморезисторы. Для преобразования сигналов от таких преобразователей в унифицированные применяют нормирующие преобразователи.

Межсистемные преобразователи предназначены для преобразования унифицированных сигналов различной физической природы. Входные и выходные сигналы данных преобразователей являются унифицированными, но имеют различную физическую природу.

Преобразователи могут соединяться последовательно, параллельно, с обратной связью.

На рис. 2.1 показана цепь последовательно соединенных измерительных преобразователей.

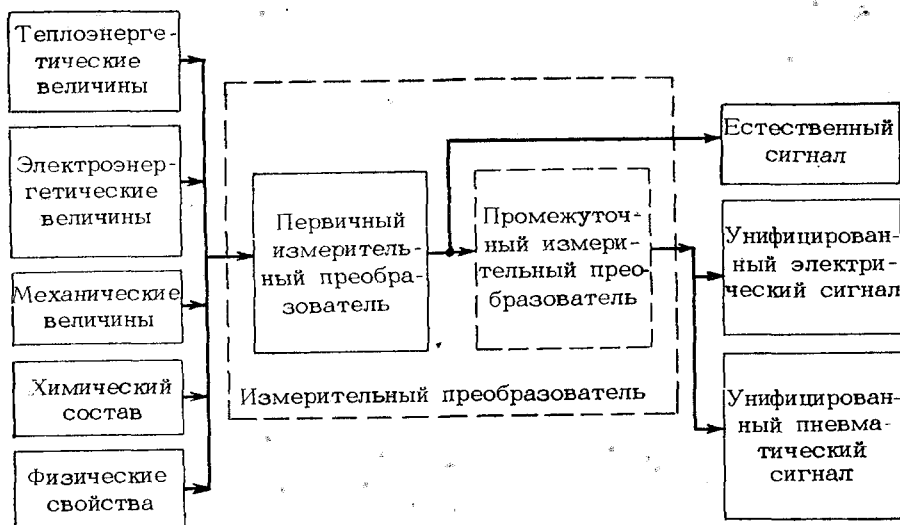


Рис. 2.1. Структура измерительного преобразователя

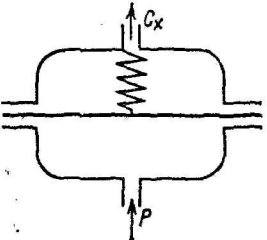
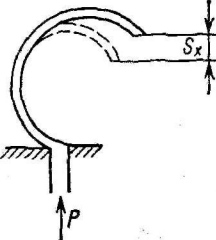
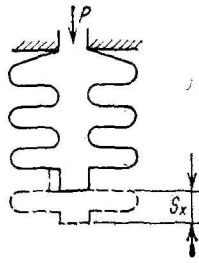
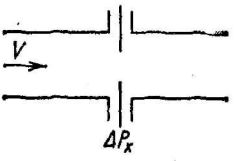
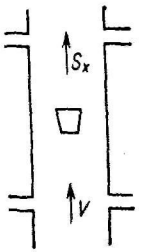
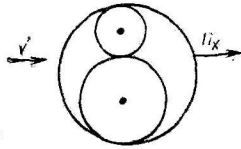
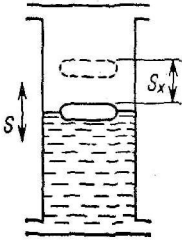
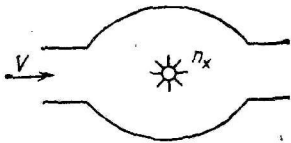
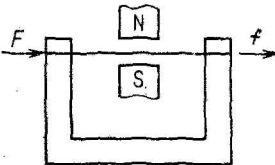
2.2. Измерительные преобразователи неэлектрических величин

Измерительные преобразователи неэлектрических величин или первичные измерительные преобразователи являются основой всех средств измерений неэлектрических величин, а также важнейшими элементами автоматических систем управления. Они позволяют получать информацию о ходе технологических процессов. Назначение их состоит в восприятии и преобразовании контролируемых неэлектрических величин в электрические.

В табл. 2.1—2.7 приведены основные типы первичных измерительных преобразователей, которые разделены на семь основных групп: механические, резистивные и электростатические, электромагнитные, пьезоэлектрические, тепловые, оптические и ионизационные, электрохимические.

Механические преобразователи (табл. 2.1) характеризуются преобразованием входных неэлектрических величин: давления, расхода, уровня — в выходные механические: перемещение, перепад давления, число оборотов, которые затем преобразуются в электрические величины с помощью специальных преобразователей, рассмотренных ниже.

Таблица 2.1. Механические измерительные преобразователи

Мембранные	Пружинные	Сильфонные	Дроссельные	Ротаметрические
				
Объемные	Поплавковые	Скоростные	Струнные	
				

Наиболее широкое применение получили механические преобразователи, выполненные в виде упругих элементов, в которых измеряемые величины — усилие, давление, перепад давлений, уровень, воздействуя на упругий элемент, вызывают его деформацию (перемещение). В качестве упругих элементов чаще всего используют мембраны, сильфоны, трубчатые пружины. Точность и надежность упругих элементов зависит от материала и качества их изготовления. Их недостаток — сравнительно низкая частота пропускаемых сигналов (не более 20—30 Гц).

К механическим преобразователям относятся также устройства, используемые для измерения скорости потоков жидкости и газа: дроссельные, ротаметрические, объемные и скоростные.

Дроссельные имеют на выходе сигнал в виде перепада давления, зависящего от скорости потока. Их применяют для измерения расхода жидкости и газа, но ограничено используют для измерения малых расходов и расхода неоднородных и загрязненных сред.

У ротаметрических преобразователей выходным сигналом является линейное перемещение поплавка пропорционально скорости потока. Они имеют меньшую область применения, так как повышаются требования к допускаемой вязкости жидкости и условиям монтажа. Класс точности обеих групп преобразователей у лучших образцов достигает 0,6 %, у объемных преобразователей — не превышает 1 %. Объемные преобразователи отличаются ограниченным рабочим давлением измеряемой среды.

Резистивные преобразователи (табл. 2.2) основаны на изменении сопротивления электрической цепи от действия механических величин: усилия и перемещения. К резистивным преобразователям относятся также контактные, реостатные, тензорезисторные и угольные.

Принцип действия тензорезистивных преобразователей основан на явлении тензоэффекта, заключающегося в изменении активного сопротивления проводников или полупроводников при их механической деформации. Входная измерительная величина вызывает механическое напряжение и деформацию упругого элемента, на котором жестко закреплен проводник. Тензосопротивления выполняют в виде проволоки, фольги или тонкопленочных резисторов. Тензорезисторы включают в мостовые схемы, питаемые стабилизированным напряжением. В этом случае изменение сопротивления преобразователя преобразуется в соответствующее изменение постоянного или переменного напряжения. Выходное сопротивление мостовой измерительной схемы составляет 10—1000 Ом, выходное напряжение изменяется в пределах от 0 до ± 50 мВ.

Полупроводниковые преобразователи имеют более высокую чувствительность, чем проволочные. При выходном сопротивлении измерительного моста в пределах 100—10 000 Ом они обеспечивают выходное напряжение до 1 В.

В контактных и реостатных преобразователях естественной входной величиной является перемещение. В контактных преобразователях перемещение преобразуется в замкнутое и разомкнутое состояние контактов, управляющих электрической цепью. Реостатные преобразователи выполнены в виде реостата, движок которого перемещается в соответствии со значением измеряемой величины.

Принцип действия угольных преобразователей основан на изменении омического сопротивления столбика графических пластин при действии измеряемого усилия. Угольные преобразователи не получили широкого применения из-за низкой стабильности при действии внешних факторов, особенно влажности.

Таблица 2.2. Резистивные и электростатические измерительные преобразователи

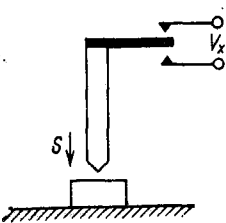
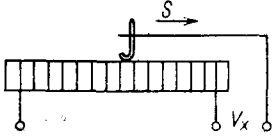
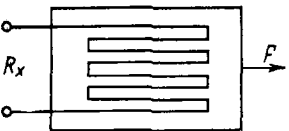
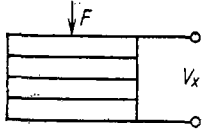
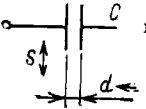
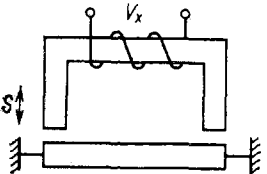
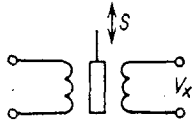
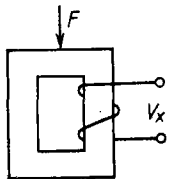
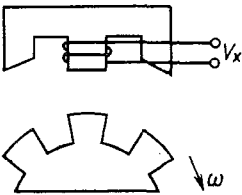
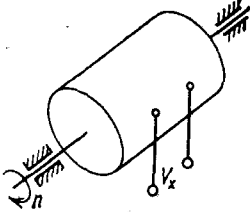
Контактные	Реостатные	Тензорезисторные	Угольные	Емкостные
				

Таблица 2.3. Электромагнитные измерительные преобразователи

Индуктивные	Трансформаторные	Магнитоупругие	Индукционные	Тахометрические
				

Электростатический преобразователь представляет собой два или несколько тел, между которыми действует электрическое поле. К электростатическим преобразователям относятся емкостные.

В основу работы емкостных преобразователей положено изменение емкости конденсатора под действием измеряемой величины, которая может изменять расстояние между электродами конденсатора, площадь электродов и диэлектрическую проницаемость диэлектрика между электродами. Емкостные преобразователи обычно выполняют по дифференциальной схеме. Изменение емкости обычно преобразуется в изменение частоты или амплитуды высокочастотных колебаний. Рабочий диапазон частот емкостных преобразователей достигает 40 кГц. Начальная емкость преобразователей составляет всего 5—500 пФ, поэтому их выходное сопротивление достаточно велико. Это следует учитывать при построении измерительных схем.

Электромагнитные преобразователи (табл. 2.3) основаны на изменении параметров электромагнитной цепи при действии измеряемых величин. К ним относятся индуктивные, трансформаторные, магнитоупругие и индукционные преобразователи.

Индуктивный преобразователь представляет собой дроссель с изменяющимся воздушным зазором или площадью поперечного сечения воздушного зазора сердечника. Входная величина — перемещение, выходная — изменение индуктивности обмотки сердечника. Диапазон измерения перемещения преобразователя с переменным воздушным зазором составляет 0,1—1 мм, с переменной площадью до 5—8 мм. Для измерения больших перемещений применяют индуктивные преобразователи соленоидного типа, представляющие собой катушку с ферромагнитным сердечником. Их диапазон измерения составляет 100—1000 мм.

Трансформаторный преобразователь представляет собой магнитный сердечник с двумя обмотками. Выходная величина — изменение взаимной индуктивности обмоток. Наибольшее распространение в промышленности получили дифференциально-трансформаторные преобразователи с подвижным ферромагнитным сердечником. Они имеют хорошую линейность (до 0,1 %) при измеряемом перемещении в пределах от 50 до 100 мм.

Магнитоупругий преобразователь представляет собой ферромагнитный сердечник с одной или двумя обмотками, к которому прикладывается механическое усилие. Усилие создает в сердечнике механическое напряжение, которое приводит к изменению магнитной проницаемости и, следовательно, к изменению сопротивления катушки. Достоинство магнитоупругих преобразователей — высокие значения мощности и уровня выходного сигнала. Однако они имеют невысокую точность.

В последнее время широкое применение находят преобразователи с магнитной компенсацией. Они представляют собой магнитный усилитель, работающий в режиме глубокого насыщения, у которого входным сигналом является перемещение постоянного магнита, изменяющего магнитное сопротивление усилителя. Выходной сигнал преобразователя представляет собой импульсы постоянного тока, амплитуда и площадь которых пропорциональны перемещению. Преобразователи применяют для измерения больших усилий в широком диапазоне частот. Они имеют достаточно высокий класс точности (0,6—1,0).

Индукционные преобразователи основаны на известном явлении электромагнитной индукции — наведении ЭДС в электрическом контуре при изменении маг-

нитного потока. Они предназначены для преобразования скорости вращения в изменение электрического сигнала, характеризуемого амплитудой и частотой.

Пьезоэлектрические преобразователи (табл. 2.4) — электростатические преобразователи генераторного типа. Принцип действия их основан на явлениях прямого пьезоэффекта, заключающегося в появлении поляризации под действием усилия, и обратного пьезоэффекта, заключающегося в том, что пьезокристаллы деформируются в электрическом поле. В обычном исполнении пьезоэлектрические преобразователи применяют для измерения динамических усилий, изменяющихся с высокой частотой. Нижняя граничная частота лежит в пределах 1—10 Гц. Однако для измерения низкочастотных сигналов необходим усилитель, имеющий входное сопротивление большее, чем собственное сопротивление пьезоэлемента (примерно 10^{10} Ом).

Пьезоэлектрические преобразователи применяют также для измерения статических нагрузок. В этом случае динамический режим работы пьезоэлемента создают искусственно путем возбуждения в нем механических колебаний при помощи генератора электрических колебаний. Воздействие на преобразователь измеряемой величины осуществляется путем изменения размеров, плотности и упругих свойств непосредственно пьезоэлемента, а также изменением акустического сопротивления среды, контактирующей с пьезоэлементом, которое определяется ее плотностью, скоростью звука, контактной жесткостью и площадью фактического контакта пьезоэлемента со средой. На основе изменения параметров непосредственно пьезоэлемента от воздействия измеряемой величины строят тензочувствительные, термочувствительные и масс-чувствительные преобразователи. На основе изменения акустической среды, контактирующей с пьезоэлементом, строят пьезоэлектрические преобразователи с изменяющимся акустическим сопротивлением. Выходным сигналом тензочувствительных, термочувствительных и масс-чувствительных преобразователей является изменение частоты колебаний автогенератора, в частотозадающую цепь которого включен пьезорезонатор. Пьезоэлектрические преобразователи с изменяющимся акустическим сопротивлением строят на основе пьезоэлектрических резонаторов и трансформаторов. Выходной сигнал — изменение тока в цепи пьезорезонатора и изменение выходного напряжения пьезотрансформатора, а также изменение частоты колебаний автогенератора, если резонатор или трансформатор включены в его частотозадающую цепь.

Различают контактные преобразователи с изменяющимся акустическим сопротивлением и преобразователи с акустическими чувствительными элементами. В первом случае измеряемая нагрузка прикладывается непосредственно к пьезоэлементу, что приводит к изменению параметров контакта пьезоэлемента с силопередающим элементом. Во втором — измеряемые величины воздействуют на акустический чувствительный элемент, механически соединенный с пьезоэлементом.

Пьезоэлектрические преобразователи статических нагрузок применяют для измерения широкого круга механических величин и параметров жидкостей и газов.

Тепловые преобразователи (табл. 2.5) основаны на тепловых процессах. Их естественная входная величина — температура. К тепловым преобразователям относят: термоэлектрические, терморезистивные, термомеханические, манометрические, термокондуктометрические.

Термоэлектрические преобразователи — термопары наиболее широко применяют в промышленности и в лабораторной практике. Принцип действия их осно-

Таблица 2.4. Пьезоэлектрические измерительные преобразователи

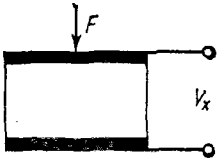
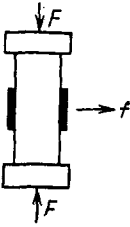
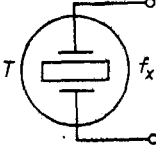
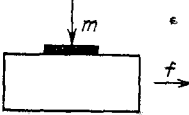
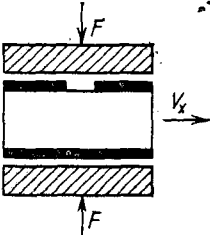
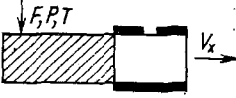
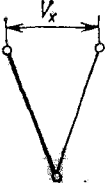

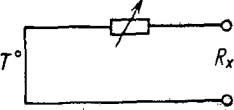
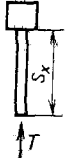

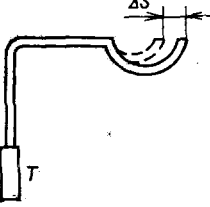
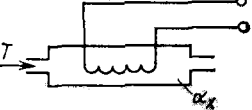
Динамических нагрузок	Тензочувствительные	Термочувствительные	Масс-чувствительные	Контактные	С акустическими чувствительными элементами
					

Таблица 2.5. Тепловые измерительные преобразователи

Термоэлектрические	Терморезистивные	Термомеханические	Манометрические	Термокондуктометрические
 		 		

ван на явлении термоэлектричества, заключающегося в том, что в цепи из двух различных проводников (или полупроводников), соединенных между собой концами, при различной температуре мест соединения возникает термо-ЭДС. Проводники, составляющие термопару, называются электродами, а места соединения — спаями.

К термоэлектрическим преобразователям можно отнести радиационные оптические устройства, в которых тепловое излучение нагретого тела при помощи оптической системы направляется на термобатарей, составленную из последовательно включенных термопар. Погрешность радиационных измерительных устройств не ниже 2,5 %. Однако они имеют высокий верхний предел диапазона измерения.

Терморезистор представляет собой проводник или полупроводник, сопротивление которого достаточно сильно зависит от температуры. Большинство химически чистых металлов обладает положительным температурным коэффициентом сопротивления. Точностные характеристики термометров сопротивления такие же, как у термопар, но существенно ниже предел измерения температуры. Чувствительность промышленных термометров сопротивления составляет 0,18—0,22 Ом/°C.

Термомеханические преобразователи основаны на свойстве нагретых тел изменять свои линейные размеры. К ним относятся dilatометрические и биметаллические преобразователи. Они имеют более высокую погрешность измерения по сравнению с термопарами и терморезисторами. Для увеличения перемещения свободного конца рабочего тела относительно закрепленного применяют рычажные системы или специальные формы воспринимающих элементов. Перемещение свободного конца рабочего тела преобразуется в электрический сигнал при помощи рассмотренных выше электромеханических преобразователей перемещения.

Манометрические преобразователи основаны на свойствах изменения объема жидкости и давления газа под действием температуры. Изменение объема жидкости под действием температуры преобразуется в деформацию мембраны, манометрической пружины или сильфона и при помощи электромеханических преобразователей — в электрический сигнал. Изменение давления газа под действием температуры преобразуется в электрический сигнал при помощи электромеханических преобразователей давления. Манометрические преобразователи используют для измерения температуры в сравнительно небольшом диапазоне. Класс точности их составляет 1,0. Они отличаются простотой конструкции и высокой надежностью.

Оптические преобразователи (табл. 2.6) основаны на свойствах измеряемых величин оказывать влияние на те или иные характеристики светового потока, пропускаемого через анализируемую среду. Они содержат источник получения светового потока, оптический канал и приемник излучения. В качестве источников излучения применяют тепловые и люминесцентные, в качестве приемников — тепловые и фотоэлектрические. Прохождение оптического излучения через вещество характеризуется поглощением и рассеянием. При прохождении излучения через раствор степень поглощения и рассеяния зависит от концентрации, содержания примесей и других свойств раствора. Наиболее широкое применение среди оптических преобразователей находят фотоколориметрические, рефрактометрические, турбидиметрические, нефелометрические и оптико-акустические.

Фотоколориметрические преобразователи основаны на изменении светового потока (в видимой области спектра) при прохождении через контролируемую

Таблица 2.4. Пьезоэлектрические измерительные преобразователи

Таблица 2.6. Оптические и ионизационные измерительные преобразователи

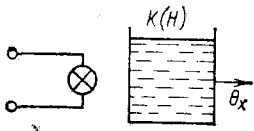
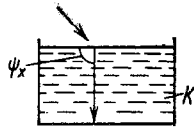
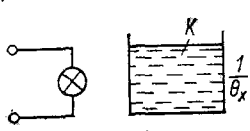
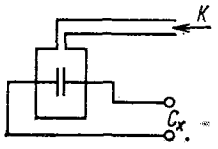
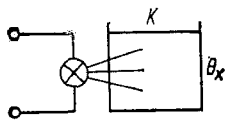
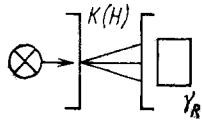
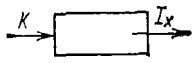
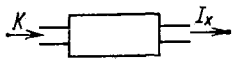
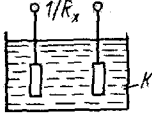
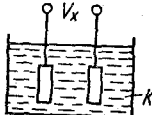
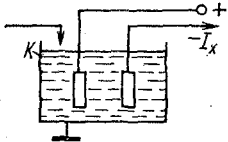
Фотоколориметрические	Рефрактометрические	Турбодиметрические	Оптико-акустические
			
Нефелометрические	Радионуклидные	Масс-спектрометрические	Хроматографические
			

Таблица 2.7. Электрохимические измерительные преобразователи

Кондуктометрические	Потенциометрические	Полярографические
		

жидкость в результате поглощения его жидкостью. Рефрактометрические преобразователи используют зависимость между величиной показателя преломления и составом или свойством жидкости. Турбодиметрические и нефелометрические преобразователи используют для контроля концентрации взвешенных частиц в прозрачных жидкостях. Турбодиметрические преобразователи основаны на свойстве ослабления светового потока вследствие поглощения взвешенными частицами. В нефелометрических преобразователях измеряется интенсивность светового потока, рассеянного взвешенными частицами. Принцип действия оптико-акустических устройств основан на способности контролируемого газа поглощать инфракрасные лучи. Измерение концентрации газа основано на оптико-акустическом эффекте. Контролируемый газ в замкнутом объеме подвергается прерывистому облучению, в результате чего он периодически нагревается и охлаждается, что вызывает колебания давления газовой смеси. Эти колебания давления и служат мерой концентрации.

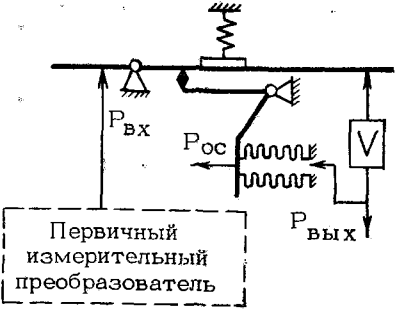
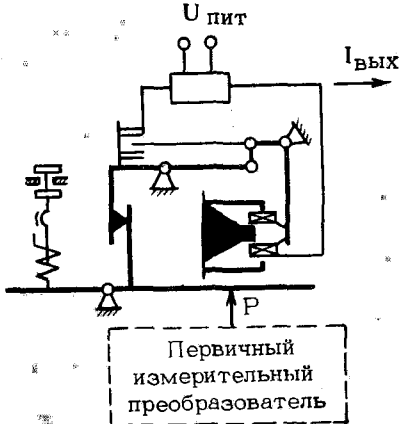
Фотокolorиметрические, рефрактометрические и оптико-акустические преобразователи выполняются по дифференциальной схеме.

Хроматографические преобразователи основаны на предварительном разделении компонентов анализируемой смеси и последующем определении концентрации каждой составляющей при помощи ионного детектора. Их применяют для определения состава смесей различных газов и жидкостей.

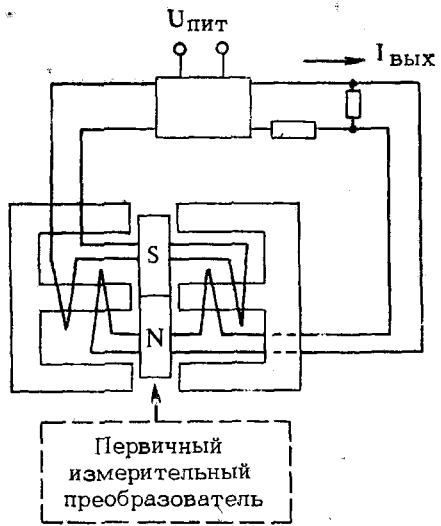
Масс-спектрометрические преобразователи основаны на следующем методе анализа газовой смеси. Молекулы исследуемого вещества ионизируются электронами, фокусируются в узкий пучок, ускоряются в электрическом поле и улавливаются секционированным коллектором электронов. Состав электронного пучка соответствует молекулярному составу анализируемой газовой смеси. Под действием поперечного магнитного поля пучок разделяется на составляющие, которые содержат ионы с определенным соотношением массы и заряда. Они попадают на коллектор, в цепи которого создают токи, пропорциональные концентрации соответствующих составляющих. Выходные токи хроматографических и масс-спектрометрических преобразователей до 10^{-16} А, выходное сопротивление 10^{10} Ом.

Радионуклидные преобразователи основаны на свойстве измеряемых величин оказывать влияние на параметры ионизирующего излучения. Они содержат радиоактивный источник, создающий излучение, и приемник излучения, выходной сигнал которого пропорционален интенсивности ионизирующего излучения. В качестве источников излучений применяют естественные и искусственные радиоактивные нуклиды и рентгеновские трубки, в качестве приемников — ионизационные камеры, газоразрядные и сцинтилляционные счетчики.

Таблица 2.8. Унифицированные измерительные преобразователи

Преобразователь	Измеряемые величины			
	Температура, °С	Давление, МПа	Перепад давления, кПа	Уровень, м
<p>Пневматический с силовой компенсацией</p>  <p>Первичный измерительный преобразователь</p>	-200 до +600	0—1000	0,16—630	0,02—16
<p>Электрический с силовой компенсацией</p>  <p>Первичный измерительный преобразователь</p>	-200 до +600	0—1000	0,16—630	0,02—16

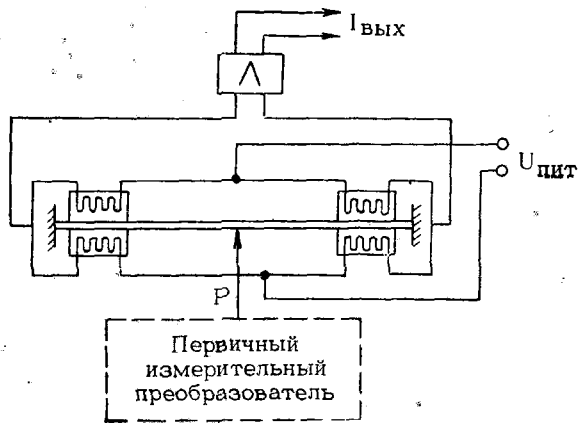
Электрический с магнитной компенсацией



— 0,1 до 60

0—630

Тензорезистивный тонколлекторный



— 0,1 до 60

0—2500

0—16

Электрохимические преобразователи (табл. 2.7) основаны на изменении электрических параметров среды в результате химических преобразований, вызванных изменением концентрации или состава. Они представляют собой электролитическую ячейку, заполненную раствором, с помещенными в ней двумя или несколькими электродами, служащими для включения преобразователя в электрическую цепь.

Как элемент электрической цепи электролитическая ячейка характеризуется сопротивлением, емкостью, индуктивностью, падением напряжения, развиваемой ЭДС. К электрохимическим относятся кондуктометрические, потенциометрические и полярографические преобразователи.

Кондуктометрические преобразователи основаны на зависимости сопротивления электролита от его состава и концентрации. Начальное сопротивление кондуктометрических преобразователей колеблется от нескольких ом до сотен килоом. Диапазон изменения выходного напряжения достигает 10 В. Частота напряжения питания 50—10 000 Гц.

Потенциометрические преобразователи основаны на зависимости ЭДС, возникающей на электродах электролитической ячейки, от концентрации ионов электролита. Они входят в состав рН-метров. Чувствительность потенциометрических преобразователей достигает 60 мВ/ед. рН. Диапазон изменения выходного сигнала составляет 800 мВ. Выходное сопротивление преобразователей около 200 МОм.

Полярографические преобразователи основаны на явлении поляризации на одном из электродов электролитической ячейки при электролизе. Выходным сигналом полярографических преобразователей является изменение постоянного тока в диапазоне до 20 мкА. Измерение токов выполняется схемой с низким входным сопротивлением около 1 кОм. Они применяются для качественного и количественного определения химического состава веществ в малых концентрациях.

Для унификации комплекса измерительных преобразователей применяются промежуточные преобразователи, составляющие единую конструкцию с первичным измерительным преобразователем. Разработаны унифицированные комплексы преобразователей теплотехнических величин с промежуточными преобразователями на основе силовой компенсации, компенсации магнитных потоков, тензорезисторных тонкопленочных преобразователей. В табл. 2.8 приведены общие характеристики ряда измерительных преобразователей, входящих в унифицированные комплексы, и принципиальные схемы промежуточных преобразователей.

2.3. Измерительные преобразователи электрических величин

Средства измерений электрических величин выпускаются преимущественно в составе агрегатного комплекса средств электроизмерительной техники (АСЭТ). В АСЭТ имеется большое количество измерительных преобразователей. В данном разделе рассмотрены только электрические преобразователи с унифицированным выходом. В табл. 2.9 приведены общие технические характеристики основных измерительных преобразователей.

2.4. Аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи

В эту группу преобразователей входят преобразователи унифицированных аналоговых сигналов в цифровой код и цифрового кода в унифицированный аналоговый сигнал. Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) применяются главным образом для ввода информации в ЭВМ. Цифроаналоговые преобразователи

Т а б л и ц а 2.9. Характеристики преобразователей АСЭТ

Входной сигнал	Тип преобразователя	Выходной сигнал — постоянный ток, мА
Переменный ток 0—1; 0—5 А	Е—824	0—5
Напряжение переменного тока:		
0—125 В	Е 825/1	0—5
75—125 В	Е 825/2	0—5
Напряжение постоянного тока 0—75 мВ (от шунта)	Е 826	0—5
Напряжение постоянного тока 0—100; 0—125; 0—200; 0—500; 0—1000; 0—2000 В	Е 827	0—5
Частота переменного тока, Гц:		
49—51	Е 828/1	0—5
47—52	Е 828/2	0—5
45—55	Е 828/3	0—5
55—65	Е 828/4	0—5
Активная мощность трехфазного тока:		
0,5; 1,0; 2,5; 5 А (80—120) В	Е 829/1	0—5
0,5; 1,0; 2,5; 5 А (20—120) В	Е 829/2	0—5
0,5; 1,0; 2,5; 5 А (80—120) В	Е 829/3	-5—0—+5
0,5; 1,0; 2,5; 5 А (20—120) В	Е 829/4	-5—0—+5
0,5; 1,0; 2,5; 5 А (20—120) В	Е 829/5	0—2,5—5
Реактивная мощность трехфазного тока (входные сигналы соответствуют сигналам Е 829)	Е 830/1	0—5
	Е 830/2	0—5
	Е 830/3	-5—0—+5
	Е 830/4	-5—0—+5
	Е 830/5	0—2,5—5
Переменный ток 0,5; 1; 2,5; 5 А	Е 842	0—5

Примечания: 1. Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч не менее 0,94.

2. Напряжение питания 220 В.

3. Потребляемая мощность не более 13 ВА.

Т а б л и ц а 2.10. Общие характеристики аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей

Входной сигнал	Тип преобразователя	Выходной сигнал
Аналого-цифровые преобразователи		
Напряжение ± 1 ; 10 В	Ф 7077/1	Потенциальный параллельный двоичный нормальный 10-разрядный код
Напряжение ± 1 ; 2 В	Ф 7077/2	Потенциальный параллельный двоичный нормальный 8-разрядный код
Напряжение ± 1 В	Ф 4222	Потенциальный параллельный двоичный нормальный 9-разрядный код
Напряжение ± 1 В	Ф 4881	Потенциальный параллельный двоичный нормальный 14-разрядный код
Напряжение ± 10 В, постоянный ток 0—5 мА	Ф 4892	Потенциальный параллельный 14-разрядный код

Входной сигнал	Тип преобразователя	Выходной сигнал
Цифроаналоговые преобразователи		
Потенциальный параллельный 12-разрядный код Двоично-десятичный код 8—4—2—1 или 2—4—2—1	4810/1	Напряжение постоянного тока $\pm 10,2375$ В
	4810/2	Напряжение постоянного тока $\pm 9,995$ В

Примечания: 1. Потребляемая мощность не более 65 ВА.
2. Нарботка на отказ не менее 3000 ч.

(ЦАП) применяются как в системах сбора и преобразования информации, так и в системах управления. В табл. 2.10 приведены общие технические данные некоторых типов АЦП и ЦАП, используемых в ГСП.

2.5. Нормирующие преобразователи

Нормирующие преобразователи применяют для преобразования выходных сигналов измерительных преобразователей различных физических величин в унифицированные сигналы ГСП (рис. 2.2). Общие технические характеристики нормирующих преобразователей приведены в табл. 2.11.

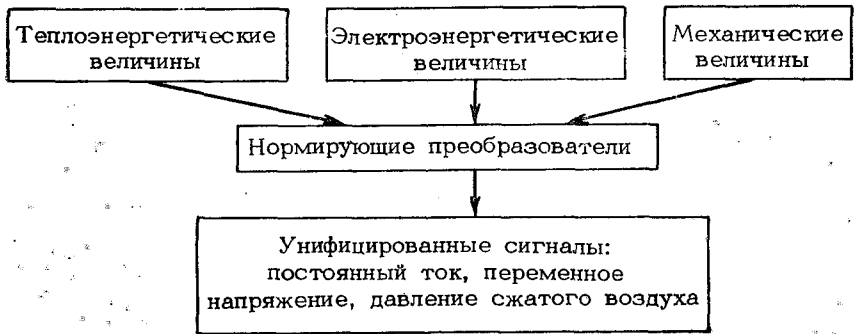


Рис. 2.2. Виды сигналов нормирующих преобразователей

Таблица 2.11. Общие характеристики нормирующих преобразователей

Тип датчика	Входной сигнал преобразователя	Тип преобразователя	Выходной сигнал
Тензорезисторный	Сопротивление	ПА-1	0—1 В
Дифференциально-трансформаторный	Индуктивность	НП-ПЗ	0—5 мА

Тип датчика	Входной сигнал преобразователя	Тип преобразователя	Выходной сигнал
Терморезистивный	Сопротивление	Ш71, Ш71-И	0—5 мА 0—10 В
		НП-СЛ1-М НП-СЛ1-И ПТ-ТС-68	0—5 мА
Термоэлектрический	ЭДС	Ш72, Ш72-И	0—5 мА 0—10 В
		НП-ТЛ1-М НП-ТЛ1-И НП-5Б-1 НП-5Б-2 НП-5Б-3 ПТ-ТП-68	0—5 мА
Реохордный	Сопротивление	Ш73	0—5 мА 0—10 В
		НП-Р1-М	0—5 мА

Примечания. 1. Напряжение питания 220 В переменного тока и 24 В постоянного тока (для ПА-1).
2. Потребляемая мощность не более 40 ВА.
3. Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч не менее 0,9.

Таблица 2.12. Основные характеристики межсистемных преобразователей

Входной сигнал	Тип преобразователя	Выходной сигнал
Электрический параллельный восьмиразрядный код (8 разрядов)	КЭПП-2М	Пневматический аналоговый 0,02—0,1 МПа
Унифицированный электрический непрерывный сигнал постоянного тока (0—5 мА)	ЭПП 130	Унифицированный пневматический непрерывный 0,02—0,1 МПа
Непрерывный пневматический сигнал 0,02—0,1 МПа	ПЭ-55М	Унифицированный электрический сигнал постоянного тока 0—5 мА
Электрический сигнал постоянного тока —20—0+20 мА	ПЭГ-ПМ	Давление минерального масла 2—30 МПа
Электрический сигнал постоянного тока 0—20 мА	ПЭГ-Д	Давление минерального масла 2—30 МПа
Напряжение промышленной частоты 0—2 В, 50 Гц	ПФН	Постоянное напряжение 0—3 В (при нагрузке 3 кОм); 0—10 В (при нагрузке 2 кОм); Переменный ток 0—2 В; 0—3 В; 0—0,56 В; 50 Гц
Напряжение переменного тока 0—2 В, 50 Гц	ПЭФ	Напряжение постоянного тока 0—100 мВ
Непрерывный частотный 4—8 кГц, амплитуда 0,6—2,4 В	ПЭФ-К ППСН1	

Примечание. Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч не менее 0,8.

2.6. Межсистемные преобразователи

В системах управления используются комбинированные комплексы технических средств: электрических, пневматических, гидравлических. Так, например, при совместном использовании электрических и пневматических средств удается сочетать высокое быстродействие электрических элементов, удобство передачи и пре-

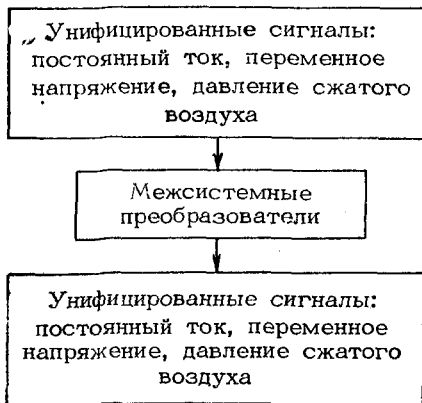


Рис. 2.3. Виды сигналов межсистемных преобразователей

Рис. 2.4. Межсистемные преобразователи ГСП



образования электрических сигналов с высокой надежностью и хорошими динамическими качествами пневматических исполнительных механизмов. Для реализации комбинированной системы управления предусмотрены межсистемные преобразователи (рис. 2.3). На рис. 2.4 приведены основные данные межсистемных преобразователей ГСП. В табл. 2.12 приведены характеристики межсистемных преобразователей.

Глава 3

ВТОРИЧНЫЕ ПРИБОРЫ

3.1. Общие сведения

Вторичные приборы предназначены для измерения неэлектрических величин в комплекте с измерительными преобразователями. В системах автоматического контроля и управления они используются для передачи информации человеку-оператору.

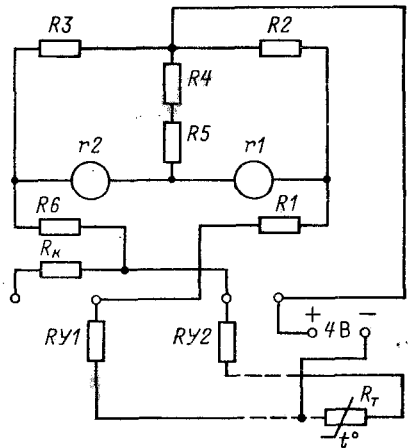
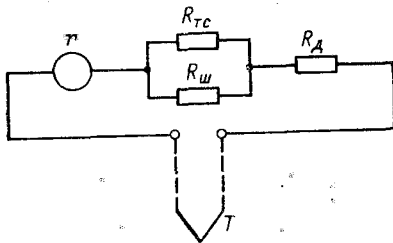
К вторичным приборам относятся логометры, милливольтметры, компенсационные приборы (потенциометры, мосты, приборы с дифференциально-трансформаторными, ферродинамическими и другими уравнивающими устройствами). В промышленности широко применяются показывающие и регистрирующие вторичные приборы серий КС, КВ, КИ и пневматические приборы комплекса «Старт».

Рис. 3.1. Принципиальная схема логометра:

r_1, r_2 — рамки логометра; R_1-R_6 — резисторы измерительной схемы; R_k — резистор контрольный; R_{Y1}, R_{Y2} — катушки уравнильные; R_T — термопреобразователь сопротивления

Рис. 3.2. Принципиальная схема милливольтметра:

r — рамка милливольтметра; R_{Tc}, R_{Tc} — резисторы схемы температурной компенсации; R_x — резистор добавочный; T — термоэлектрический преобразователь



Для компактного размещения вторичных приборов на контрольных щитах и пультах разработаны узкопрофильные показывающие приборы АСК (аналоговые, сигнализирующие, контактные). В этих приборах благодаря применению светового отсчета показаний и специальной конструкции измерительного механизма существенно уменьшены габаритные размеры без ухудшения точности отсчета.

В последнее время в качестве вторичных приборов широко применяются электроизмерительные приборы с цифровым выходом, входящие в агрегатный комплекс средств электроизмерительной техники (АСЭТ).

3.2. Логометры и милливольтметры

Логометры применяют для измерения физических величин, изменение значения которых может быть преобразовано в изменение активного сопротивления. Логометры широко применяют в комплекте с термопреобразователями сопротивления. Логометр — прибор магнитоэлектрической системы. Принципиальная схема логометра приведена на рис. 3.1.

Милливольтметры применяют для измерения физических величин, изменение значения которых может быть преобразовано в постоянную ЭДС. Милливольтметры широко применяют для измерения температуры в комплекте с термоэлектрическими преобразователями. Милливольтметр — прибор также магнитоэлектрической системы. Принципиальная схема милливольтметра приведена на рис. 3.2.

В последнее время логометры и милливольтметры выполняют в виде комплекса приборов АСК (рис. 3.3, табл. 3.1), которые используют для измерения различных электрических и неэлектрических параметров, сигнализации и регулирования в системах автоматического контроля и управления технологическими процессами. Наличие светового указателя и ряд новых конструктивных решений позволили расширить информационные возможности приборов АСК по сравне-

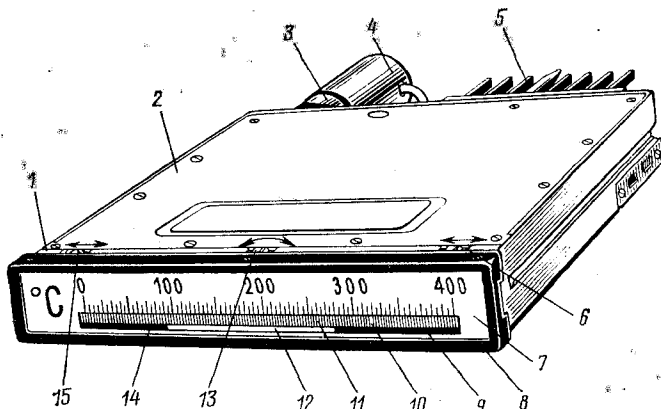


Рис. 3.3. Прибор узкопрофильный АСК:

1 — плоский литой корпус; 2 — крышка корпуса; 3 — патрон осветительной лампы; 4 — крышка лампы; 5 — штепсельный разъем; 6, 15 — регуляторы положения светофильтров; 7 — шкала; 8 — индикатор; 9, 14 — цветные светофильтры-шторки; 10 — световой указатель; 11 — матовый экран; 12 — прозрачная щель в матовом экране; 13 — регулятор корректора

нию с обычными щитовыми электроизмерительными приборами, вторичными приборами теплового контроля, показывающими потенциометрами и мостами. Приборы АСК занимают на щитах в 5—10 раз меньшую площадь, в результате чего на единице площади поверхности щита или пульта можно разместить значительно большее количество приборов, а в ряде случаев совсем отказаться от щитов, сосредоточивая всю информацию на пультах в поле обзора оператора. Важный источник информации в приборах АСК — цвет указателя, меняющийся при выходе контролируемого параметра за установленные пределы.

Дополнительные возможности создают фотоконтактные модификации приборов. В этих приборах при отклонении измеряемой величины за установленные пределы на выходе появляется сигнал, достаточный для того, чтобы при помощи внешних релейных устройств включать дополнительную сигнализацию (звуковые устройства, световые табло и др.) или осуществлять автоматическое регулирование контролируемого процесса.

Приборы удобно группируются, облегчая взаимное сопоставление контролируемых параметров, и могут встраиваться непосредственно в мнемосхемы. По

Т а б л и ц а 3.1. Состав аппаратуры АСК

Наименование приборов	Тип	Предел измерения
Амперметры и вольтметры постоянного тока, включая вторичные приборы для датчиков неэлектрических величин	M1730 M1731 M1530 M1531 M1830	5 мкА—6 кА; 10 мВ—600 В
Амперметры и вольтметры переменного тока, 50 Гц	Э390	5 мА—5 А 15—600 В 40 кА; 600 кВ
Частотомеры	Э393	45—55 Гц
Ваттметры и варметры на 50 Гц трехфазные	Д390	5 А, 127, 220, 380 В и до 40 кА, 4 кВ
Фазометры на 50 Гц трехфазные	Д392	0,5 емк—1—0,5 инд 0,9 емк—1—0,2 инд
Милливольтметры пирометрические, работающие в комплекте с термоэлектрическими преобразователями	МВУ6-41	ХА, ХК, ПП, ПР
Милливольтметры пирометрические, работающие в комплекте с термопреобразователями сопротивления	МВУ6-42	ТСП, ТСМ
Многоканальные амперметры и вольтметры, включая вторичные приборы для датчиков неэлектрических величин	M1743 (3 канала) M1740 (4 канала) M1741 (8 каналов) M1742 (12 каналов)	1; 5; 20 мА 1; 10 В
Многошкальные микроамперметры постоянного тока, включая вторичные приборы для датчиков неэлектрических величин	M1632 M1633 (1—2 шкалы) M1634 M1635 (3—5 шкал)	10—100 мкА 5; 20 мА 1; 10 В

Наименование приборов	Тип	Предел измерения
Блок трехпозиционной сигнализации и регулирования	П1730	—
Блок двухпозиционной сигнализации и регулирования	П1731	—
Трансформаторы для питания ламп:		
на 4—10 ламп	П1710	—
на 10—20 ламп	П1711	—
на 20—50 ламп	П1712	—

надежности приборы АСК не уступают обычным щитовым стрелочным электроизмерительным приборам.

Узкопрофильные приборы выпускают трех габаритов:

приборы среднего габарита — $160 \times 30 \times 273$ мм, длина шкалы 120 мм, масса 1,3 кг; габарит является основным;

приборы большого габарита — $240 \times 30 \times 298$ мм, длина шкалы 200 мм, масса 1,8 кг;

приборы малого габарита — $100 \times 30 \times 235$ мм, длина шкалы 65 мм, масса 0,75 кг.

Предусмотрены следующие модификации каждого из приборов: показывающий — А; сигнализирующий — С; трехпозиционный контактный — К; двухпозиционный с правым контактом — КП; двухпозиционный с левым контактом — КЛ.

Приборы МВУ6 состоят из магнитоэлектрического узкопрофильного измерителя габарита $160 \times 30 \times 273$ мм и добавочного блока (табл. 3.2) и предназначены

Таблица 3.2. Модификации приборов МВУ6

Тип прибора	Милливольтметр, входящий в комплект	Тип добавочного блока
МВУ6-41А	Показывающий М1734/1-11А	БУ-11
МВУ6-41С	Показывающий с сигнализирующим светофильтром М1734/1-11С	БУ-11
МВУ6-42А	Показывающий М1734/12А	БУ-21
МВУ6-42С	Показывающий с сигнализирующим светофильтром М1734/12С	БУ-21
МВУ6-41КЛ (КП)	Двухпозиционный с левым (правым) задатчиком М1734/1-11КЛ (КП)	БУ1-12 или БУ2-12
МВУ6-41К	Трехпозиционный М1734/1-11К	БУ1-13 или БУ2-13
МВУ6-42КЛ	Двухпозиционный с левым задатчиком М1734/12КЛ	БУ1-22 или БУ2-22
МВУ6-42КП	Двухпозиционный с правым задатчиком М1734/12КП	БУ1-22 или БУ2-22
МВУ6-42К	Трехпозиционный М1734/12К	БУ1-23 или БУ2-23

для измерения температуры в комплекте с термоэлектрическими преобразователями или термопреобразователями сопротивления всех стандартных характеристик и градуировок.

Показывающие и сигнализирующие модификации приборов (А и С) комплектуются блоками, содержащими элементы измерительной схемы.

Контактные модификации приборов (К, КП и КЛ) в зависимости от особенностей их использования могут комплектоваться либо вышеуказанными блоками, либо блоками, содержащими, помимо элементов измерительной схемы, релейное устройство.

Блоки БУ-11 предназначены для компенсации влияния температуры свободных концов термоэлектрических преобразователей, а также для подавления нуля в приборах с безнулевой шкалой.

Блоки БУ-21 предназначены для преобразования сигнала термопреобразователя сопротивления в напряжение постоянного тока. Все блоки имеют катушки для подгонки сопротивления внешней линии и питаются от сети переменного тока напряжением 220 В.

Блоки БУ1-12, БУ1-13, БУ2-12, БУ2-13, БУ1-22, БУ1-23, БУ2-22, БУ2-23, помимо тех функций, которые выполняют блоки БУ-11 и БУ-21 соответственно, предназначены для двух- или трехпозиционной сигнализации и регулирования. От блоков может осуществляться питание осветительной лампы измерителя. Блоки БУ1-12, БУ1-13, БУ2-12, БУ2-13 содержат устройство сигнализации обрыва цепи термоэлектрического преобразователя.

Блоки двух- и трехпозиционной сигнализации и регулирования типов П1730 и П1731 предназначены для работы с узкопрофильными приборами АСК контактных модификаций и служат для включения дополнительной сигнализации о выходе измеряемой величины за установленные пределы или для автоматического регулирования контролируемых процессов.

3.3. Автоматические компенсационные приборы

К автоматическим компенсационным приборам относятся потенциометры, измерительные мосты сопротивлений, приборы с дифференциально-трансформаторным, ферродинамическим и частотным компенсаторами.

Автоматический потенциометр предназначен для измерения ЭДС. На рис. 3.4 показана электрическая схема автоматического потенциометра. Измеряемое напряжение (ЭДС) E_x алгебраически суммируется с напряжением, снимаемым с диагонали АС измерительной схемы, и результат поступает на вход электронного усилителя УЭ, к выходу которого подключен реверсивный асинхронный двигатель РД, автоматически сводящий сумму напряжений к нулю путем перемещения в соответствующем направлении подвижного контакта реохорда R. Одновременно двигатель перемещает стрелку показывающей части и перо (каретку) самопишущей части потенциометра, а также воздействует на регулирующее и сигнализирующее устройства, если они имеются (ПСР).

Назначение резисторов измерительной схемы: R_1 — изменение нижнего значения шкалы; R_2, R_3 — изменение пределов измерения; R_4 — автоматическая компенсация изменения ЭДС термоэлектрического преобразователя при изменении температуры свободных концов; R_5 — резистор сравнения; R_6 — установка рабочего тока; $CН$ — источник стабилизированного напряжения.

На рис. 3.5 приведена принципиальная схема автоматического прибора (миллиамперметра), работающего в комплекте с датчиком токового сигнала ДТС. Измерительная схема прибора отличается от измерительной схемы потенциометра (рис. 3.4) тем, что на вход подключается шунт R_i , на котором унифицированный токовый сигнал преобразуется в падение напряжения, изменяющееся в диапазоне 0—10 мВ.

Для токового сигнала 0—5 мА величина R_i равна 2 Ом, а для сигнала 0—20 мА — 0,5 Ом.

На рис. 3.6 показана электрическая схема вольтметра.

Унифицированный сигнал напряжения 0—10 В поступает на делитель, состоящий из резисторов $R_{в1}$ и $R_{в2}$ с сопротивлением 50 и 4950 Ом соответственно.

На измерительную схему автоматического электронного прибора ИСАЭП поступает лишь часть сигнала, поступившего от датчика унифицированного сигнала напряжения ДНС, изменяющаяся в диапазоне 0—100 мВ.

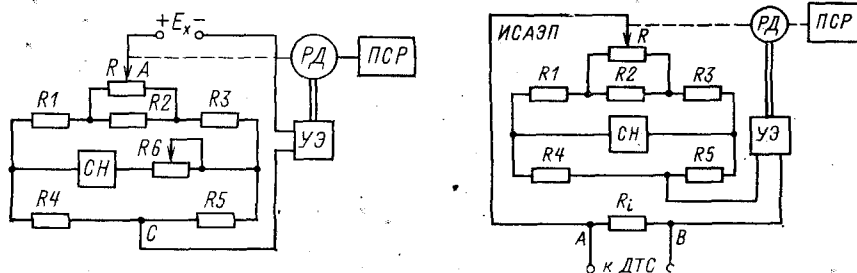


Рис. 3.4. Принципиальная схема автоматического потенциометра

Рис. 3.5. Принципиальная схема прибора для измерения унифицированного токового сигнала

Автоматический мост сопротивлений (рис. 3.7) работает в комплекте с термопреобразователем сопротивления R_T . Измерительная диагональ моста подключена на вход электронного усилителя УЭ, выход которого связан с реверсивным асинхронным двигателем РД. В случае нарушения равновесия моста, вызванного изменением температуры в месте установки термопреобразователя сопротивления, реверсивный двигатель автоматически уравнивает его путем перемещения в соответствующем направлении подвижного контакта реохорда R . Одновременно двигатель перемещает в новое положение стрелку показывающей и перо (каретку) самопишущей частей прибора, а также воздействует на регулирующее и сигнализирующее устройства ПСР, если они имеются.

Назначение резисторов измерительной схемы: R_1 — ограничение тока в термопреобразователе сопротивления; R_2, R_3 — изменение пределов измерения; R_4, R_5 — дополнение схемы одинарного моста; R_6 — ограничение напряжения питания измерительной схемы моста.

Автоматический электронный прибор с дифференциально-трансформаторным компенсатором показан на рис. 3.8. Входной сигнал поступает с датчика, содержащего дифференциально-трансформаторный преобразователь ДТП1. Дифференциально-трансформаторный компенсатор ДТП2 входит в измерительную схему.

Сердечник *ДТП2* перемещается под воздействием реверсивного двигателя *РД* посредством кулачка (лекала) *К*. Сумма напряжений вторичных обмоток *ДТП* подается на вход усилителя *У*.

При изменении измеряемого технологического параметра вследствие перемещения сердечника *ДТП1* на вход усилителя поступает сигнал рассогласования, в результате чего реверсивный двигатель перемещает в соответствующем направлении сердечник *ДТП2*, обеспечивая уравнивание системы. Одновременно двигатель перемещает в новое положение стрелку показывающей и перо самопишущей частей прибора, а также воздействует на интегрирующее, сигнализирующее устройства *ПСИР*, если они имеются.

На рис. 3.8 обозначены: *I* — первичная обмотка *ДТП*; *II* — вторичная обмотка *ДТП*; *III* — дополнительная обмотка *ДТП2*, служащая совместно с *R1* для корректировки вторичного напряжения при среднем положении сердечника; *R2* и

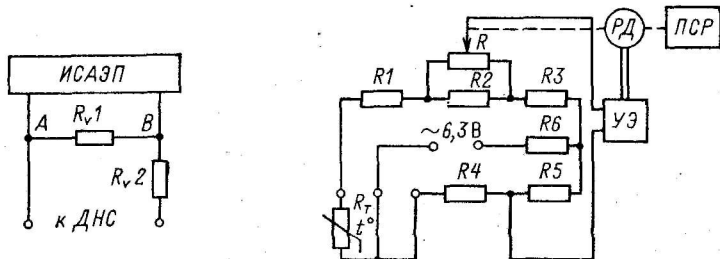


Рис. 3.6. Принципиальная схема прибора для измерения унифицированного сигнала напряжения

Рис. 3.7. Принципиальная схема автоматического уравновешенного моста

R3 — регулировочные резисторы, предназначенные для корректировки диапазона измерения; *B* — кнопка, служащая для установки стрелки прибора на контрольную отметку шкалы; *C* — сердечник; *Д* — датчик.

Прибор с ферродинамическим компенсатором приведен на рис. 3.9. Входной сигнал поступает с датчика *Д*, содержащего ферродинамический преобразователь *1ПФ*. Рамка преобразователя *2ПФ*, расположенного в приборе, перемещается реверсивным двигателем *РД*. Сумма напряжений рамок подается на вход усилителя *У*, в уравновешенном состоянии она равна нулю. При изменении технологического параметра рамка преобразователя *1ПФ* поворачивается, на вход усилителя поступает сигнал рассогласования. Реверсивный двигатель перемещает в соответствующем направлении рамку преобразователя *2ПФ*, обеспечивая уравнивание системы. Одновременно двигатель перемещает в новое положение стрелку показывающей и перо самопишущей частей прибора, а также воздействует на интегрирующее, регулирующее, сигнализирующее устройства *ПСИР*, если они имеются.

Прибор с частотным компенсатором приведен на рис. 3.10. Сигнал от передающего частотного (струнного) преобразователя *ПС1*, механически связанного с датчиком *Д*, поступает на входной усилитель прибора *У* и затем через блокинг-генератор *БГ1* на сумматор (вычислитель) *Σ*. От компенсирующего частотного

преобразователя *ПС2* на этот сумматор также подается сигнал через блокинг-генератор *БГ2*. При изменении значения измеряемой величины на выходе сумматора образуется сигнал рассогласования, который через мультивибратор *МВ* приводит в движение в соответствующем направлении ротор реверсивного двигателя *РД*.

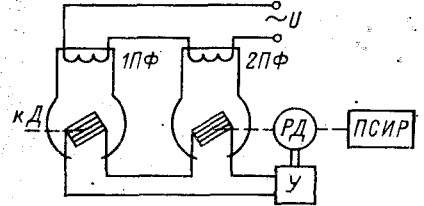
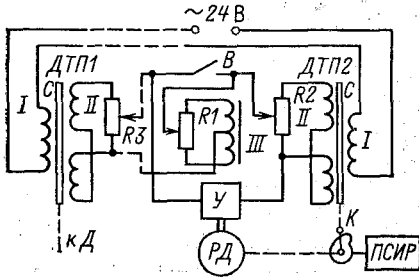


Рис. 3.8. Принципиальная схема прибора с дифференциально-трансформаторным компенсатором

Рис. 3.9. Принципиальная схема прибора с ферродинамическим компенсатором

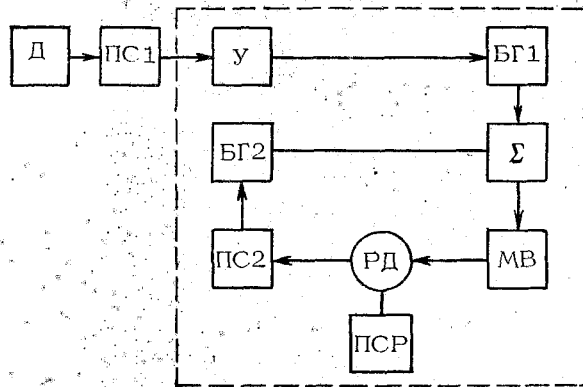


Рис. 3.10. Структурная схема прибора с частотным компенсатором

При этом от частотного преобразователя *ПС2* поступает измененный сигнал, уравнивающий систему, и устанавливаются новые значения в показывающей и регулирующей *ПСР* частях прибора.

Промышленность выпускает следующие серии автоматических компенсационных приборов.

Автоматические миниатюрные показывающие и регулирующие приборы с плоской секторной шкалой серии КП1: потенциометры КПП1, уравновешенные мосты переменного тока КПМ1, вольтметры и миллиамперметры КПУ1. Они предназначены для измерения физических величин, изменение которых может быть

преобразовано в изменение постоянного тока, напряжения постоянного тока или активного сопротивления.

Автоматические показывающие приборы серии КВ1 с вращающимся цилиндрическим циферблатом: потенциометры КВП1, уравновешенные мосты КВМ1, миллиамперметры и вольтметры КВУ1.

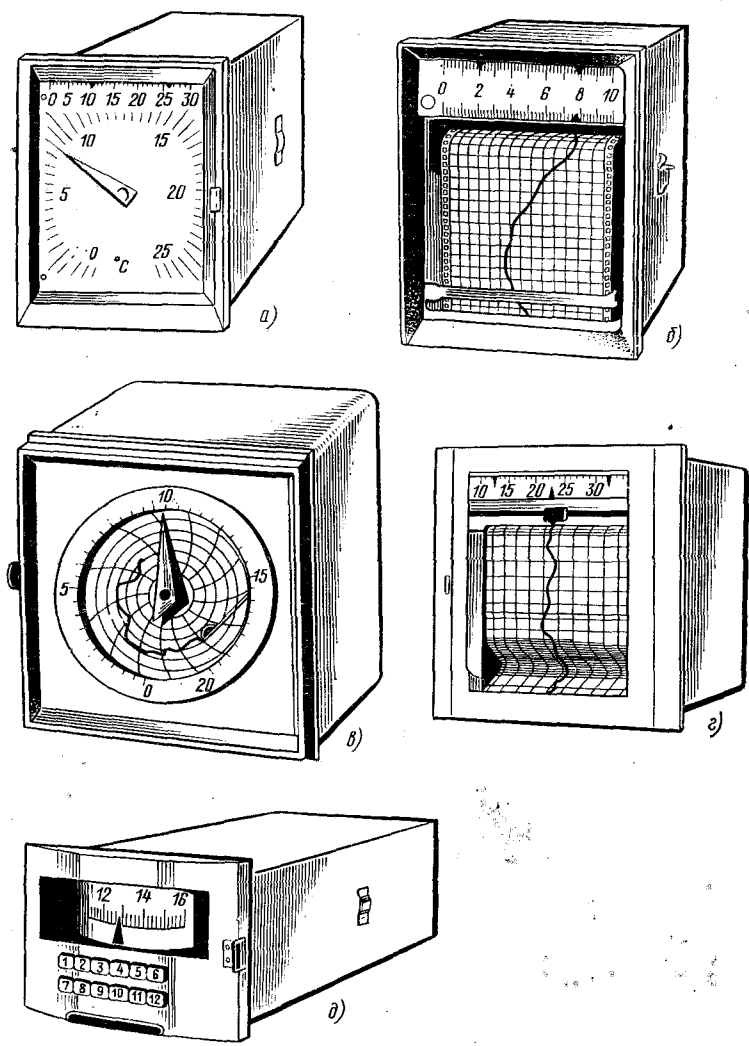


Рис. 3.11. Общий вид автоматических компенсационных приборов: а — КП1; б — КС1 и КС2; в — КС3; г — КС4; д — КВ1

Автоматические показывающие приборы серии К140: потенциометры КП140, уравновешенные мосты КМ140, приборы с дифференциально-трансформаторной схемой КД140.

Автоматические миниатюрные показывающие, регистрирующие и регулирующие приборы серии КС1: потенциометры КСП1, уравновешенные мосты КСМ1, миллиамперметры КСУ1.

Автоматические малогабаритные, показывающие, регистрирующие приборы серии КС2: потенциометры КСП2, уравновешенные мосты КСМ2, миллиамперметры и вольтметры КСУ2, приборы с дифференциально-трансформаторной схемой КСД2.

Автоматические показывающие, регистрирующие, интегрирующие и регулирующие приборы с записью на диаграммном диске серии КС3: потенциометры КСП3, уравновешенные мосты КСМ3, миллиамперметры КСУ3, приборы с дифференциально-трансформаторной схемой КСД3.

Автоматические показывающие, регистрирующие и регулирующие приборы серии КС4: потенциометры КСП4, уравновешенные мосты КСМ4, миллиамперметры КСУ4.

Автоматические приборы с ферродинамическими компенсационными преобразователями типов ВФП-М и ВФС-М являются миниатюрными показывающими и регистрирующими приборами, работающими в комплекте с датчиками взаимной индуктивности.

Автоматические показывающие и регистрирующие приборы с частотным компенсатором типов ВЧП и ВЧС предназначены для измерения величин, нулевое значение которых может быть представлено частотой переменного тока 4 кГц, а максимальное значение — частотой 8 кГц.

Автоматические миниатюрные показывающие, сигнализирующие и регулирующие приборы с плоской прямоугольной вертикальной неподвижной шкалой одноканальные серии А-501 и двухканальные серии А-502 предназначены для измерения величин, которые могут быть преобразованы в напряжение постоянного тока или постоянный ток. В основу работы приборов положен компенсационный метод измерения входного унифицированного сигнала.

Таблица 3.3. Техническая характеристика комплексов приборов

Комплекс приборов	Класс точности	Длина шкалы, мм	Габарит, мм	Масса, кг, не более	Потребляемая мощность, В·А	Вероятность безотказной работы за 1000 ч
КП1	0,5	315	160×200×500	13	20	0,9
КП140	0,5	—	140×140×404	10	15	—
КВ1	0,5	500	240×160×470	15	25	0,9
КС1	1,0	100	160×200×500	13	16	0,9
КС2	0,5	160	240×320×492	20	30	0,9
КС3	0,5	600	320×320×400	20	40	0,8
КС4	0,25	250	400×400×367	25	60	0,9
ВФП	0,5	270	200×160×500	20	35	0,9
ВФС	0,5	100	200×160×500	20	35	0,9
ВЧП	0,5	270	200×160×530	20	20	0,9
ВЧС	0,5	100	200×160×530	20	20	0,9
А501	1,0	100	39×159×283	3	5	—
А502	0,5	100	80×160×590	8	25	—
А542*	1,0	100	80×160×590	9	25	—
А543	0,5	100	119×159×570	12	40	—

* В щитовом исполнении.

Автоматические показывающие и регистрирующие приборы одноканальные А-541, двухканальные А-542, трехканальные А-543 предназначены для работы с источниками унифицированных сигналов постоянного тока и напряжения постоянного тока.

Приборы А-501, А-502, А-541, А-542, А-543 представляют собой агрегатные средства контроля и регулирования (АСКР). Выполняются в щитовом, настольном и стоечном исполнении.

На рис. 3.11 показан внешний вид отдельных модификаций комплексов автоматических компенсационных приборов, а их технические характеристики приведены в табл. 3.3.

В табл. 3.4 приведены общие технические характеристики основных типов компенсационных приборов.

Таблица 3.4. Автоматические компенсационные приборы

Наименование прибора	Входной сигнал или тип датчика
Приборы для измерения унифицированных сигналов измерительных преобразователей (миллиамперметры) КПУ, КВУ, КСУ: КПУ1, КВУ1, КСУ1, КСУ2, КСУ3, КСУ4	Постоянный ток 0—5; —5 ÷ +5; —20 — 0 ÷ +20; 0—20 мА Постоянное напряжение 0—1; —1 ÷ ÷ +1; 10—0 ÷ +10; 0—10 В
Мосты уравновешенные: КПМ1, КМ140, КВМ1, КСМ1, КСМ2, КСМ3, КСМ4	Термопреобразователи сопротивления ТСП, ТСМ
Потенциометры: КПП1, КП140, КВП1, КСП1, КСП2, КСП3, КСП4	Термоэлектрические преобразователи, телескопы радиационных пирометров, датчики ЭДС или напряжения постоянного тока
Приборы с дифференциально-трансформаторной измерительной схемой: КПД1, КД140, КВД1, КСД1, КСД2, КСД3	Комплексная взаимная индуктивность 0—10, 10—0—10 мГн
Ферродинамические миниатюрные самопишущие и показывающие приборы типа ВФС-М, показывающие типа ВФП-М	Комплексная взаимная индуктивность 0—20 мГн (0—2 В)
Приборы с частотным компенсатором миниатюрные самопишущие и показывающие типа ВЧС, показывающие типа ВЧП	Положительные, двухполярные либо синусоидальные импульсы с частотой 4—8 кГц и амплитудой 0,4—10 В
Приборы комплекса АСКР: А501, А502, А541, А542, А543	Постоянный ток 0—5, 0—20 мА. Напряжение постоянного тока 0—1, 0—10 В.

Во вторичные приборы могут быть встроены преобразователи (табл. 3.5) и дополнительные устройства (табл. 3.6).

Технические характеристики основных модификаций всех типов автоматических компенсационных приборов приведены в [1, 4, 8, 35].

Таблица 3.5. Характеристика преобразователей

Тип преобразователя	Выходной сигнал	Пределы изменения выходного сигнала
ПП1-М	Пневматический	20—100 кПа
ПГ-У1-2	Частотный	4—8 кГц
ПФ1	Ферродинамический	-1 — 0 ÷ +1 В
ПФ2	»	-1 — 0 ÷ +1 В
ПФ3	»	0—2 В
ПФ4	»	0—2 В
ПФ5	»	1—3 В
ПФ6	»	1—3 В
ИП10-01	Токовый с линеаризацией	0—5 мА
ИП11-01	Токовый без линеаризации	0—5 мА
ИП10-02	Напряжения с линеаризацией	0—10 В
ИП11-02	Напряжения без линеаризации	0—10 В

Таблица 3.6. Характеристика дополнительных устройств приборов

Вид устройства	Назначение	Характеристика
Реостатное устройство	Дистанционная передача показаний	330; 300; 90 Ом
Реостатное устройство	Работа с регулирующим устройством	100; 620 Ом
Реостатный 10%-ный задатчик	То же	120 Ом
Реостатный 100%-ный задатчик	»	130; 150 Ом
Аварийная сигнализация	Сигнализация	Контактное устройство
Двухпозиционное регулирующее (сигнальное) устройство	Позиционное регулирование или сигнализация	Напряжение постоянного тока 30 В, переменного — 220 В, сила тока 1,25 А
Трехпозиционное регулирующее (сигнальное) устройство	То же	То же
То же многоточечное	»	»
Пневматическое регулирующее устройство ПРЗ.27М	ПИ-закон регулирования	Предел пропорциональности — 10—250 % T_n — 0,1—20 мин

3.4. Приборы с цифровым выходом

В основе работы электроизмерительных приборов с цифровым выходом лежат различные методы кодирования измеряемой величины, в частности, могут быть использованы следующие методы непрерывно-дискретного преобразования изме-

рямой величины: интегропараметрический; последовательного счета с двухтактным интегрированием; последовательного счета с промежуточным преобразованием напряжения во временной интервал; кодонимпульсный с поразрядным уравновешиванием; кодонимпульсный с двухтактным интегрированием; суммирования «взвешенных напряжений».

Интегропараметрический метод. Структурная схема прибора, использующего данный метод, приведена на рис. 3.12. Измеряемое напряжение U_x через входную схему $VxС$ подается на входной усилитель $VxУ$. $VxС$ содержит блок реле и делитель напряжения с коэффициентом деления 1 : 100. Включение реле и изменение коэффициента усиления $VxУ$, определяемого выбранным пределом измерения,

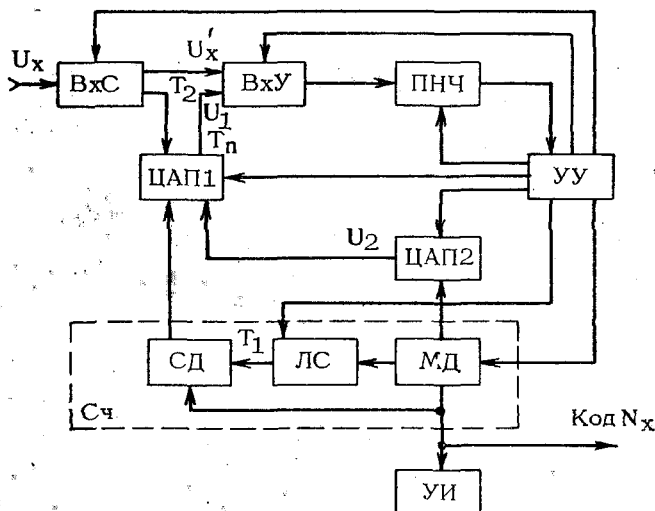


Рис. 3.12. Структурная схема цифрового прибора, построенного по интегропараметрическому методу

обеспечиваются устройством управления $УУ$. Напряжение с выхода $VxУ$ поступает на преобразователь напряжение—частота $ПНЧ$, частота которого пропорциональна поданному на его вход напряжению. Импульсы с выхода $ПНЧ$ поступают через $УУ$ в счетчик импульсов $Сч$, состоящий из трех младших декад $МД$, логической схемы $ЛС$ и четырех старших декад $СД$.

В режиме грубого измерения импульсы, генерируемые $ПНЧ$, поступают через $МД$, $ЛС$ в $СД$. При этом заполняются $СД$ и старшая декада $МД$ $Сч$.

В режиме точного измерения цикл измерения состоит из двух основных интервалов (T_1 и T_2) заполнения $СД$, $МД$ соответственно и времени преобразования T_n основного цифроаналогового преобразователя $ЦАП1$.

В течение интервала T_1 импульсы, генерируемые $ПНЧ$, через $ЛС$ заполняют $СД$. При этом выход $ЦАП1$ закорочен, и его выходное напряжение U_1 равно нулю.

В конце интервала T_1 на выходе ЦАП1 формируется напряжение U_1 , по значению равное числу, записанному в СД, и с полярностью, соответствующей полярности U_x .

Напряжение U_1 по команде с УУ поступает на вход ВхУ. Таким образом, к началу интервала T_2 на входе ВхУ приложена разность напряжений U_x и U_1 . Эта разность напряжений вновь преобразуется в пропорциональное число импульсов, генерируемых ПНЧ, которые поступают в МД.

В режиме автокалибровки МД используется для формирования напряжения U_2 вспомогательного цифроаналогового преобразователя ЦАП2, служащего для корректировки работы ЦАП1. Работой ПНЧ, ЦАП1 и ЦАП2 управляет УУ.

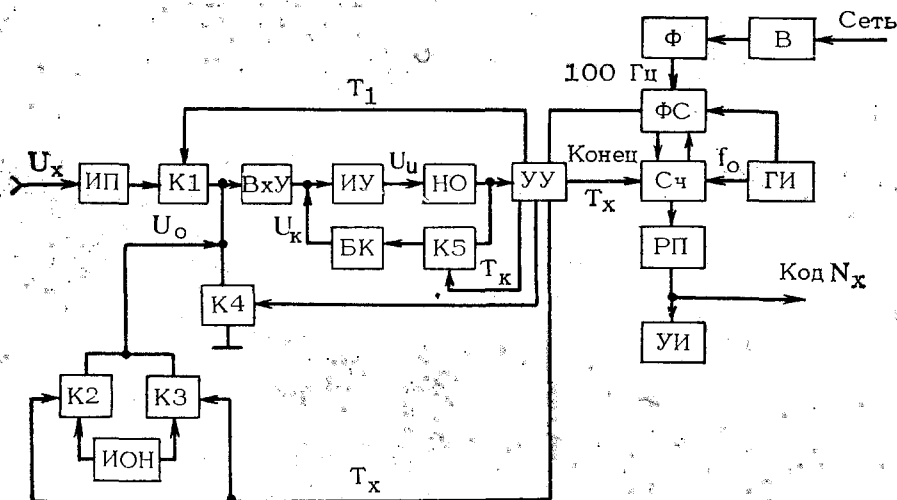


Рис. 3.13. Структурная схема цифрового прибора, построенного по методу последовательного счета с двухтактным интегрированием

Результат измерения выдается из Сч по команде УУ на устройство индикации УИ и одновременно в коде N_x на выходной разъем.

Метод последовательного счета с двухтактным интегрированием. Структурная схема прибора, работающего по данному методу, приведена на рис. 3.13. Цикл измерения состоит из двух основных тактов интегрирования T_1 и T_x и дополнительного такта T_k для коррекции погрешностей, вызванных дрейфом усилителей аналоговой части прибора. Такты формируются устройством управления УУ под воздействием импульсов, поступающих с формирователя сигналов ФС. Из напряжения сети частотой 50 Гц с помощью двухполупериодного выпрямителя В и формирователя Ф формируются импульсы положительной полярности частотой 100 Гц. ФС 25-кратно делит частоту этих импульсов и формирует импульсы пуска, синхронизированные с импульсами кварцевого генератора импульсов ГИ.

С приходом первого импульса пуска сбрасывается счетчик Сч, замыкается ключ К1 и начинается первый такт интегрирования T_1 . При этом с начала такта T_1 измеряемое напряжение U_x через измерительный преобразователь ИП, ключ

$K1$, входной усилитель VxU подается на вход интегрирующего усилителя $IУ$. $IП$ обеспечивает преобразование U_x в нормированное по величине напряжение постоянного тока. Одновременно начинается заполнение $Cч$ импульсами образцовой частоты f_0 , поступающими с $ГИ$.

При достижении с момента начала такта T_1 счетчиком $Cч$ значения 48999 вырабатывается импульс « Σ 48999», сбрасывающий $Cч$ и поступающий в $\PhiС$. При этом размыкается ключ $K1$ и замыкается $K4$, который коммутирует вход VxU на общую точку до прихода из $\PhiС$ импульса Σ 5. С приходом импульса Σ 5, совпадающего с передним фронтом шестого полупериода сформированной в B и Φ последовательности сетевого напряжения, начинается второй интервал T_1 . Замыкается ключ $K1$ и размыкается ключ $K4$, вновь сбрасывается $Cч$ и начинается новое заполнение $Cч$ импульсами частоты f_0 с $ГИ$.

Конец такта T_1 наступает, когда содержимое $Cч$ вторично достигает значения 48999. В течение времени T_1 ключи $K2$, $K3$, $K5$ разомкнуты.

В момент окончания такта T_1 размыкается ключ $K1$, сбрасывается $Cч$, замыкается в зависимости от полярности U_x один из ключей $K2$ или $K3$ и начинается второй такт интегрирования T_x . На выходе $IУ$ в момент окончания такта T_1 запоминается интегральное напряжение U_n , пропорциональное U_x . В течение времени T_x ключ $K2$ (или $K3$) замкнут, а остальные ключи разомкнуты. При этом с начала такта T_x на вход VxU подключается через ключ $K2$ (или $K3$) образцовое напряжение U_0 с полярностью, противоположной U_x , от источника образцового напряжения $IОН$. Одновременно начинается заполнение $Cч$ импульсами частоты f_0 с $ГИ$.

Напряжение U_n на выходе $IУ$ начинает линейно уменьшаться. В момент срабатывания нуль-органа $НО$ с его выхода выдается на $Cч$ через $УУ$ импульс «Конец T_x », который запрещает доступ импульсов с $ГИ$ на $Cч$ и поступает в $\PhiС$. Такт T_x заканчивается, ключ $K2$ (или $K3$) размыкается, а ключи $K4$ и $K5$ замыкаются. Таким образом, значение U_n преобразуется во временной интервал T_x , пропорциональный U_x , в течение которого на $Cч$ поступают импульсы частоты f_0 с $ГИ$.

По окончании такта T_x результат измерения из $Cч$ записывается в регистра памяти $РП$, с выхода которого он выдается на устройство индикации $УИ$ и одновременно в коде N_x на выходной разъем. Интервал времени с момента окончания такта T_x до начала нового цикла измерения отводится для такта T_k . В течение времени T_k ключ $K5$ замкнут и на емкости блока коррекции $БК$ запоминается корректирующее напряжение U_k . На первом и втором тактах интегрирования T и T_x ключ $K5$ разомкнут и напряжение U_k подключается к входу $IУ$ так, чтобы в течение этих тактов компенсировать дрейф VxU , $IУ$ и $НО$.

Метод последовательного счета с промежуточным преобразованием напряжения во временной интервал. Структурная схема прибора приведена на рис. 3.14.

Измеряемое напряжение $U_{вх}$ через входной делитель VxD , фильтр Φ и входной усилитель VxU поступает на вход преобразователя напряжения во временной интервал $ПНВ$. Временной интервал ΔT , пропорциональный $U_{вх}$, заполняется импульсами образцовой частоты $f_{оч}$, которые следуют через ключ K с генератора импульсов $ГИ$ и подсчитываются счетчиком $Cч$. Результат измерения выдается с $Cч$ на устройство индикации $УИ$ и одновременно в коде N_x на выходной разъем.

Кодоимпульсный метод с поразрядным уравниванием. Структурная схема прибора приведена на рис. 3.15. На один вход сравнивающего устройства *СУ* подается преобразуемое входным устройством *ВхУ* напряжение U_x , на другой начинает поступать последовательно ступенями компенсирующее напряжение U_0 с преобразователя кода в ток *ПКТ*. Число разрядов *ПКТ* определяется пределом и погрешностью измерения. В исходном состоянии на выходе *ПКТ* при всех отключенных разрядах обеспечивается ток, соответствующий потенциалу 1,023 В.

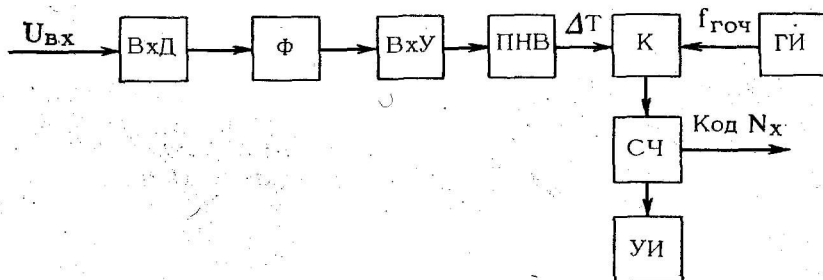


Рис. 3.14. Структурная схема цифрового прибора, построенного по методу последовательного счета с промежуточным преобразованием напряжения во временной интервал

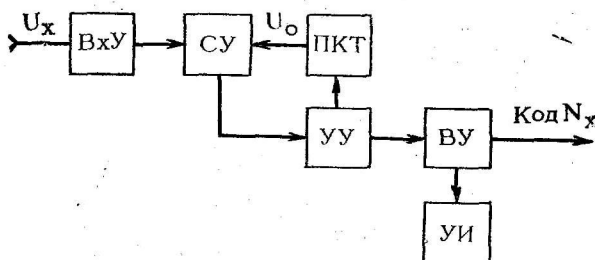


Рис. 3.15. Структурная схема цифрового прибора, построенного по кодоимпульсному методу с поразрядным уравниванием

На первом такте работы сигнал с устройства управления *УУ* включает старший разряд *ПКТ*, при этом на выходе *ПКТ* устанавливается ток, соответствующий напряжению $U_0=0$. *СУ* определяет знак разбаланса U_0 и U_x при включении очередного разряда. Если $U_0 > U_x$, то *СУ* вырабатывает сигнал, позволяющий *УУ* отключить данный разряд, если $U_0 < U_x$, то разряд *ПКТ* остается включенным. Таким образом, в процессе последовательного «взвешивания» всех разрядов *ПКТ*, начиная со старшего, в компенсации U_x участвуют только те разряды, сумма напряжений которых равна U_x .

При преобразовании положительных напряжений компенсация U_x идет путем включения последующих разрядов *ПКТ* до момента $U_x=U_0$, а при преобразовании отрицательных напряжений до момента $U_x=-1,023 \text{ В}+U_0$. Результат преобразования выдается с выходного устройства на устройство индикации *УИ* и в коде N_x на выходной разъем.

Отдельные типы цифровых вольтметров приведены в табл. 3.7, а их основные технические характеристики — в табл. 3.8.

Таблица 3.7. Вольтметры цифровые

Тип вольтметра	Входной сигнал
Щ1413	Напряжение постоянного тока 0,1; 1; 10; 100; 1000 В
Щ1516	Напряжение постоянного тока 0,005; 0,5; 5; 50; 500; 1000 В
Щ1526 (двухканальный)	Напряжение постоянного тока 0,05; 0,5; 5; 50; 500; 1000 В
Щ1611	Напряжение постоянного тока 0,1; 1; 10; 100; 1000 В

Таблица 3.8. Основные технические характеристики цифровых вольтметров

Тип прибора	Класс точности	Габарит, мм	Масса, кг. не более	Потребляемая мощность, В·А	Наработка на отказ, ч
Щ1413	0,05/0,02	317×140×305	8	25	—
Щ1516	0,01/0,005	317×310×150	12	60	2500
Щ1526	0,015/0,005	490×170×490	18	60	2000
Щ1611	0,1/0,5	480×210×540	26	150	1500

3.5. Пневматические приборы

Пневматические приборы предназначены для контроля и регулирования технологических параметров, значения которых преобразованы в стандартный анало-

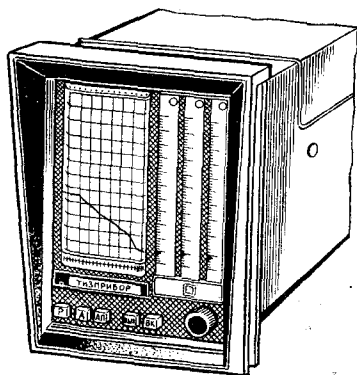
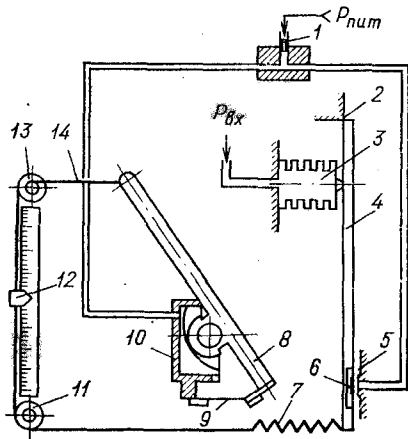


Рис. 3.16. Схема измерительного устройства пневматических приборов

Рис. 3.17. Общий вид вторичного пневматического прибора типа ПВ.10.

говый пневматический выходной сигнал, изменяющийся в пределах 20—100 кПа (0,2—1,0 кгс/см²).

Приборы работают с любыми пневматическими измерительными преобразователями, регуляторами и другими устройствами.

На рис. 3.16 приведена схема измерительного устройства вторичных пневматических приборов серии ПВ. Действие измерительного устройства основано на компенсационном принципе, при котором усилие на приемном элементе, возникаю-

Т а б л и ц а 3.9. Типы, назначение показывающих приборов

Тип	Дополнительное устройство	Назначение
ПВ1.3	—	Для показания по шкале значения одного параметра
ППВ1.1	—	То же
ППВ1.2	—	»
ППВ1.3	—	»
ППВ1.1И	Электрический индикатор крайних значений контролируемого параметра	»
ППВ1.3И	То же	»
ПВ3.2	Станция управления	Для показания значения регулируемого параметра, указания положения контрольной точки и величины давления на исполнительном механизме
ПВ2.3	Задатчик	Для выдачи с помощью встроенного задатчика стандартного пневматического аналогового сигнала и показания на одной шкале сигнала задатчика или значения параметра
ПВ2.2	Сигнализатор	Для показания значения одного параметра и получения сигнала «1», когда параметр выходит за пределы диапазона, ограниченно сигнальными стрелками
ППВ1.4	Задатчик	Для выдачи с помощью встроенного задатчика стандартного пневматического аналогового сигнала на исполнительный механизм и показания его по шкале
ППВ1.4И	Задатчик и индикатор крайних значений диапазона контролируемого параметра	То же
ППВ1.5	Задатчик и переключатель шкал	Для показания по шкале значения одного параметра, а при переключении шкал — для выдачи с помощью встроенного задатчика стандартного пневматического аналогового сигнала на исполнительный механизм и показания его по шкале
ППМ-20В	Вызывное устройство	Для показания по вызову значения одного из 20 параметров

Таблица 3.10. Основные технические характеристики показывающих приборов

Тип	Расход воздуха, л/мин	Масса, кг	Тип	Расход воздуха, л/мин	Масса, кг
ПВ1.3	3	2,6	ПВ2.3	5	3,3
ППВ1.1	2	3,7	ПВ2.2	4	3,2
ППВ1.2*	2	7,5	ППВ1.4	4	4,2
ППВ1.3	2	4,0	ППВ1.4И	6	4,2
ППВ1.1И	4	3,7	ППВ1.5	4	4,4
ППВ1.3И	4	4,0	ППВ1.5И	6	4,4
ПВ3.2	7	6,3	ППМ-20В	—	20

* Класс точности 0,5; для всех остальных типов 1.

Таблица 3.11. Типы, назначение регистрирующих приборов (класс точности 1)

Тип	Назначение	Расход воздуха, л/мин	Масса, кг
ПВ4.2Э	Для непрерывной записи на диаграммной ленте и показания по шкале значения одного параметра	3	7,8
ПВ4.2П		5	7,8
РПВ4.2Э		2	9
РПВ4-2П	Для непрерывной записи на одной диаграмме двух параметров и показания их на двух шкалах	6	9
ПВ4.3Э		4	8
ПВ4.3П		7	8
РПВ4.3Э	Для непрерывной записи на диаграммной ленте двух параметров и показания одного из них по шкале	4	10
РПВ4.3П		8	10
ПВ4.4Э	Для непрерывной записи на диаграммной ленте трех параметров и показания их на трех шкалах	4	8,2
ПВ4.4П		7	8,2
ПВ10.1Э*1	Для непрерывной записи на диаграммной ленте и показания по шкале значения регулируемого параметра, указания положения контрольной точки и величины давления на исполнительном механизме	7	10,5
ПВ10.1П*1		10	10,5
ПВ10.2Э*1	Для непрерывной записи на диаграммной ленте и показания по шкале значения двух параметров, указания положения контрольной точки и значения давления на исполнительном механизме	8	11
ПВ10.2П*1		11	11
МСС-712	Для записи на дисковой диаграмме, суммирования мгновенных расходов жидкости, пара или газа	—	10

*1 Дополнительное устройство — станция управления.

щее под действием входного давления, уравнивается усилием от давления воздуха источника питания.

Входной сигнал $P_{вх}$ поступает в приемный сильфон 3, воздух питания через дроссель 1 подается в силовой элемент 10 и к соплу 5. При изменении входного давления сильфон перемещает рычаг 4, вызывая изменение зазора между соплом и заслонкой 6, расположенной на конце рычага 4. При увеличении входного давления заслонка прикрывает сопло и давление в линии силового элемента также увеличивается. Это вызывает перемещение верхнего конца рычага 8 и связанной с ним лавсановой нити 14, огибающей ролики 11 и 13. Нить перемещает указатель и перо 12 и растягивает пружину обратной связи 7, несколько возвращая заслонку, чем обеспечивается пропорциональность показаний прибора величине входного сигнала. Крепление рычагов 4 и 8 осуществляется с помощью пластинчатых пружин 2 и 9.

Выпускаются показывающие и самопишущие (регистрирующие) приборы. Внешний вид одного из приборов приведен на рис. 3.17.

Типы, назначение, основные технические характеристики приборов приведены в табл. 3.9—3.11. Индекс Э в обозначениях типов приборов указывает на наличие электропривода лентопотяжного механизма, индекс П — на наличие пневмопривода.

Глава 4

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

4.1. Общие понятия

Температура может быть определена как параметр теплового состояния. Значение этого параметра обуславливается средней кинетической энергией поступательного движения молекул тела. С изменением средней кинетической энергии движения молекул изменяются степень нагретости тела и его физические свойства.

Единицей температуры как термодинамической, так и по практическим температурным шкалам, установленным ГОСТ 8.157—75, является кельвин (К).

Допускается применение единицы температуры — градуса Цельсия ($^{\circ}\text{C}$). Между температурой T , выраженной в кельвинах, и температурой t , выраженной в градусах Цельсия, установлено соотношение

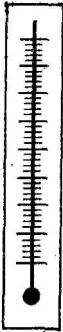
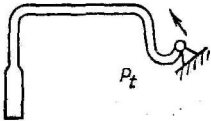
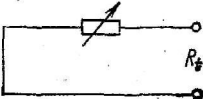
$$t = T - T_0,$$



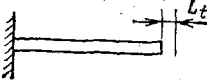

где $T_0 = 273,15 \text{ К}$.

Температурные разности выражаются в кельвинах или градусах Цельсия.

Измерение температуры осуществляется контактным и бесконтактным способами. Контактным способом температура измеряется с помощью термометров сопротивления, термоэлектрических термометров, dilatометров, биметаллических, манометрических и пьезоэлектрических термометров. Бесконтактным способом измеряют температуру радиационными, фотоэлектрическими пирометрами. В табл. 4.1 приведены характеристики наиболее распространенных методов измерения температуры.

Таблица 4.1. Характеристики основных типов преобразователей температуры

Преобразователи	Термометры расширения жидкостные	Манометрические	Терморезистивные
<p>Принципиальная схема преобразователя</p>			
<p>Величина, характеризующая температуру</p>	<p>Расширение жидкости</p>	<p>Давление газа в замкнутом объеме (или изменение объема жидкости)</p>	<p>Сопротивление чувствительного элемента</p>
<p>Погрешность измерения</p> <p><u>верхняя</u></p> <p><u>нижняя</u></p>	<p>Не более одного деления шкалы</p>	<p>$\frac{1,0\%}{4,0\%}$</p>	<p>I—V классы точности (платиновые); II—V классы (медные)</p>

Преобразователи	Термоэлектрические	Радиационные	Дилатометрические	Биметаллические
Принципиальная схема преобразователя				
Величина, характеризующая температуру	ЭДС В спае разнородных материалов	ЭДС в спае термопары	Изменение длины твердого стержня	Изменение прогиба пластины из разнородных металлов
Погрешность измерения <u>верхняя</u> <u>нижняя</u>	$\pm 0,01$ мВ $\pm [0,2 + 0,0006(t - 300)]$ мВ. для $t > 300$ °С	$\frac{1,5\%}{4,0}$	$\frac{1,5\%}{4,0\%}$	$\frac{\pm 1}{\pm 2,5}$ °С

4.2. Термометры расширения

Действие термометров расширения основано на свойстве физических тел изменять свой объем или линейные размеры при изменении температуры.

Термометры расширения подразделяют на три группы: жидкостные, стержневые или dilatометрические и биметаллические.

Жидкостные термометры построены на принципе теплового расширения жидкости в стеклянном резервуаре. В качестве рабочих веществ применяют ртуть и органические жидкости — этиловый спирт, толуол, пентан. В зависимости от вида рабочего вещества жидкостные термометры подразделяют на ртутные и нертутные.

Ртутные термометры благодаря своей простоте, сравнительно высокой точности измерения, дешевизне широко применяются для измерения температур в пределах от -30 до $+650$ °С.

Нертутные термометры применяют главным образом при измерении низких температур в пределах от -190 до $+100$ °С.

Ртутные электроконтактные термометры применяют не только для измерения температуры, но и для построения схем сигнализации, защиты и позиционного регулирования.

Термометры расширения жидкостные выпускают в прямом и угловом исполнении.

Примеры условных обозначений термометров:

Термометр П 41 240 163 ГОСТ 2823—73 (термометр прямого исполнения № 4 с ценой деления 1 °С, с длиной верхней части 240 мм и нижней части 163 мм).

Термометр У 52 160 104 ГОСТ 2823—73 (термометр угловой № 5 с ценой деления 2 °С, с длиной верхней части 160 мм и нижней части 104 мм).

Для поддержания постоянной температуры и сигнализации о достижении температуры, соответствующей температуре контактирования, применяют термоконтакты (одноконтактные, двухконтактные в прямом и угловом исполнении).

Для предохранения термометров от механических повреждений, а также для монтажа их в аппаратах и трубопроводах применяют защитные оправы.

По ГОСТ 3029—75 изготавливаются прямые (П) и угловые (У) оправы в исполнениях 1 и 2. Исполнение 1 — оправы с защитной трубкой с перфорацией для неагрессивных сред при условном давлении измеряемой среды, близком к атмосферному. Исполнение 2 — оправы с закрытой защитной трубкой для изоляции резервуара и погружаемой части термометра от соприкосновения с измеряемой средой при условном давлении до 6,4 МПа (64 кгс/см²) и до 32 МПа (320 кгс/см²).

Примеры условных обозначений оправ:

Оправа 1П 250 160 200 ГОСТ 3029—75 (оправа исполнения 1П с верхней частью длиной 250 мм, глубиной погружения 160 мм для температуры до 200 °С).

Оправа 2У 185 100 64 160 ГОСТ 3029—75 (оправа исполнения 2У с верхней частью длиной 185 мм, глубиной погружения 100 мм при условном давлении до 64 кгс/см², для температуры до 160 °С).

Дилатометрические и биметаллические термометры. Действие dilatометрических (рис. 4.1) и биметаллических (рис. 4.2) термометров основано на относи-

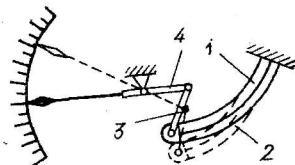
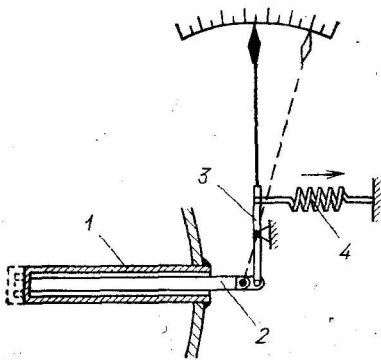


Рис. 4.1. Дилатометрический термометр:
1 — трубка из материала с большим коэффициентом линейного расширения; 2 — стержень из материала с малым коэффициентом линейного расширения; 3 — рычаг со стрелкой; 4 — пружина

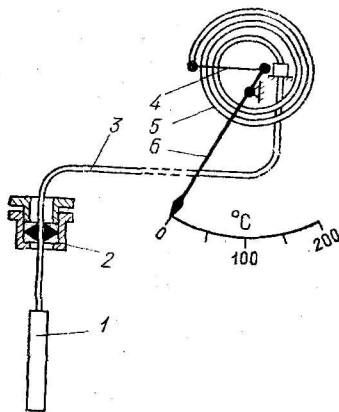


Рис. 4.2. Биметаллический термометр:
1 — металлическая полоска с большим коэффициентом линейного расширения; 2 — металлическая полоска с малым коэффициентом линейного расширения; 3 — тяга; 4 — рычаг со стрелкой

Рис. 4.3. Манометрический термометр:
1 — термобаллон; 2 — съемный штуцер с резьбой и сальником; 3 — капилляр; 4 — тяга; 5 — манометрическая трубчатая пружина; 6 — стрелка

тельном удлинении под влиянием температуры двух твердых тел, имеющих различные температурные коэффициенты линейного расширения. Они применяются главным образом в качестве реле для сигнализации изменения температуры в широком диапазоне температур. Так, например, дилатометрические реле температуры типа ТР-200 применяют в пределах 25—200 °С, они имеют погрешность ± 5 °С. Биметаллические реле температуры типа ТБ-ЭЗК имеют погрешность ± 2 °С и применяются в пределах 0—20; 10—30; 20—45 °С.

4.3. Манометрические термометры

Манометрические термометры предназначены для дистанционного измерения температуры газов, паров, жидкостей в стационарных условиях.

Принцип действия приборов основан на свойстве газов и жидкостей изменять давление и объем соответственно при изменении измеряемой температуры (рис. 4.3). Прибор состоит из термобаллона, манометрической пружины и связывающего их капилляра.

В качестве заполнителя термосистем применяются азот, аргон, гелий — в газовых манометрических термометрах;

в жидкостных манометрических термометрах — полиметилсилоксановые жидкости;

**Таблица 4.2. Термометры манометрические самопишущие
одно- и двухзаписные с дисковой диаграммой газовые типов ТГС-711,
ТГС-712, ТГ2С-711, ТГ2С-712 и жидкостные типов ТЖС-711, ТЖС-712,
ТЖ2С-711, ТЖ2С-712**

Пределы измерения, °С	Длина капилляра, м	Глубина погружения термобаллона, мм
ТГС-711, ТГС-712, ТГ2С-711, ТГ2С-712		
От -50 до +50	1,6; 2,5	160; 200; 250; 315; 400
От -50 до +100	4; 6	200; 250; 315; 400
От -50 до +150	10	250; 315; 400
	16	315; 400
	25	500
50—150	1,6; 2,5	160; 200; 250; 315; 400
0—100	4; 6	200; 250; 315; 400
	10	250; 315; 400
	16	315; 400
	25	500
0—400	1,6; 2,5	200; 250; 315; 400
0—400	4; 6	250; 315; 400
0—400	10	500
0—400	25	630
0—150	1,6; 2,5	160; 200; 250; 315; 400
0—200	4; 6	200; 250; 315; 400
0—300	10	250; 315; 400
100—300	16	315; 400
	25	500
	40	630
0—600	1,6; 2,5	200; 250; 315; 400
100—500	4; 6	250; 315; 400
200—500; 200—600	10	315; 400
ТЖС-711, ТЖС-712, ТЖ2С-711, ТЖ2С-712		
0—50	1,6; 2,5	125; 160; 200; 250
От -50 до +50	4; 6; 10	315; 400
0—100		
50—100		
0—150	1,6; 2,5; 4; 6; 10	100; 125; 160; 200;
От -50 до +100		250; 315; 400
От -50 до +150	1,6; 2,5; 4; 6; 10	80; 100; 125; 160;
—200		200; 250
100—300	1,6; 2,5; 4; 6; 10	315; 400

Примечание. Приборы (711) с приводом диаграммы от синхронного электродвигателя, (712) — от часового механизма.

**Таблица 4.3. Термометры манометрические самопишущие
с пневматическим изодромным регулирующим устройством газовые типов
ТГ-711Р, ТГ-712Р и жидкостные типов ТЖ-711Р, ТЖ-712Р**

Пределы измерения, °С	Длина капилляра, м	Глубина погружения термобаллона, мм
ТГ-711Р, ТГ-712Р		
От -50 до +50	1,6; 2,5	160; 200; 250; 315; 400
От -50 до +100	4; 6	200; 250; 315; 400
От -50 до +150	10	250; 315; 400
50—150	16	315; 400
	25	500
0—400	1,6; 2,5	200; 250; 315; 400
0—400	4; 6	250; 315; 400
0—400	10	315; 400
0—400	16	500
0—400	25	600
0—100	1,6; 2,5	160; 200; 250; 315; 400
0—100	4; 6	200; 250; 315; 400
0—100	10	250; 315; 400
0—100	16	315; 400
0—100	25	500
0—150	1,6; 2,5	160; 200; 250; 315; 400
0—200	4; 6	200; 250; 315; 400
0—300	10	250; 315; 400
100—300	16	315; 400
	25	500
	40	630
0—600	1,6; 2,5	200; 250; 315; 400
100—500	4; 6	250; 315; 400
200—500	10	315; 400
200—600		
ТЖ-711Р, ТЖ-712Р		
0—50	1,6; 2,5; 4; 6; 10	200; 250; 315; 400
От -50 до +50	1,6; 2,5; 4; 6; 10	125; 160; 200; 250
0—100		
50—150		
0—150	1,6; 2,5; 4; 6; 10	100; 125; 160; 200; 250;
От -50 до +100		315; 400
От -50 до +150	1,6; 2,5; 4; 6; 10	80; 100; 125; 160;
0—200		200; 250; 315; 400
100—300		

Примечание. Пределы пропорциональности регулирующего устройства 10—250%; время изодрома 0,1—20 мин.

Таблица 4.4. Термометры манометрические газовые типов ТДГ-Э, ТДГ-П и жидкостные типов ТДЖ-Э и ТДЖ-П (датчики)

Пределы измерения, °С	Глубина погружения термобаллона, мм	Пределы измерения, °С	Глубина погружения термобаллона, мм
ТДГ-Э, ТДГ-П		ТДЖ-Э, ТДЖ-П	
От -50 до +50	315; 400; 500	От -50 до +50	80; 100; 125; 160;
От -50 до +100	315; 400; 500	От -50 до +100	200; 250; 315; 400
От -50 до +150	315; 400; 500	От -50 до +150	
0—100	315; 400; 500	От -25 до +25	
0—150	315; 400; 500	От -10 до +15	
0—200	315; 400; 500	0—25	
0—300	315; 400; 500	0—50	
25—125	315; 400; 500	0—100	
50—150	315; 400; 500	0—150	
100—200	315; 400; 500	0—200	
100—300	315; 400; 500	0—300	
200—300	315; 400; 500	25—125	
		50—100	
		50—150	
		100—150	
		100—200	
		100—300	
		200—300	

Примечание. Выходной сигнал ТДГ (ТДЖ-Э) 0—20 мА, ТДГ-П (ТДЖ-П) — 19,6—98 кПа.

Таблица 4.5. Термометры манометрические показывающие сигнализирующие конденсационные типов ТПП4-III, ТПП4-IV

Тип термометра	Пределы измерения, °С	Длина капилляра, м	Глубина погружения термобаллона, мм
ТПП4-III	От -25 до +35	1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16	125; 160; 200; 250
ТПП4-IV (взрывозащищенный)	От -10 до +50 0—60; 0—100; 25—125; 100—200; 200—300		

Таблица 4.6. Термометры манометрические показывающие газовые типа ТПГ4 и жидкостные типа ТПЖ4

Пределы измерения, °С	Длина капилляра, м	Глубина погружения термобаллона, мм
ТПГ4		
От -50 до +50	1,6; 2,5	160; 200; 250; 315; 400
От -50 до +100	4; 6	200; 250; 315; 400
От -50 до +150	10	250; 315; 400
0—100; 0—150; 0—200;	16	315; 400
0—300; 50—150; 100—	25	500
300	40	630

Пределы измерений, °С	Длина капилляра, м	Глубина погружения термобаллона, мм
0—400	1,6; 2,5	200; 250; 315; 400
0—400	4; 6	250; 315; 400
0—400	10	315; 400
0—400	16	500
0—400	25	630
0—600; 100—500	1,6; 2,5; 4	315; 400
200—500	6; 10	
200—600		
ТПЖ4		
От —50 до +50	1,6; 2,5	80; 100; 125; 160
От —50 до +100	4; 6; 10	200; 250; 315; 400
От —50 до +150		
0—50; 0—100; 0—150		
0—200; 50—150; 100—300		

Таблица 4.7. Термометры показывающие с пневматическим выходным сигналом типов ТПГ4-V, ТПЖ4-V, с электрическим выходным сигналом типов ТПГ4-VI, ТПЖ4-VI

Пределы измерений, °С	Длина капилляра, м	Глубина погружения термобаллона, мм
ТПГ4-V, ТПГ4-VI		
От —50 до +50	1,6; 2,5	160; 200; 250; 315; 400
От —50 до +100	4; 6	200; 250; 315; 400
От —50 до +150	10	250; 315; 400
0—100; 0—150; 0—200;	16	315; 400
0—300; 50—150	25	500
	40	630
0—400	1,6; 2,5	200; 250; 315; 400
0—400	4; 6	250; 315; 400
0—400	10	315; 400
0—400	16	500
0—400	25	630
0—600; 100—500;	1,6; 2,5; 4; 6; 10	315; 400
200—500; 200—600		
ТПЖ4-V, ТПЖ4-VI		
От —50 до +50	1,6; 2,5; 4; 6; 10	80; 100; 125; 160; 200;
От —50 до +100		250; 315; 400
От —50 до +150		
0—50; 0—100; 0—150		
0—200; 50—150; 100—300		

Примечание. Пневматический выходной сигнал 19,6—98 кПа. Электрический выходной сигнал 0—5 мА.

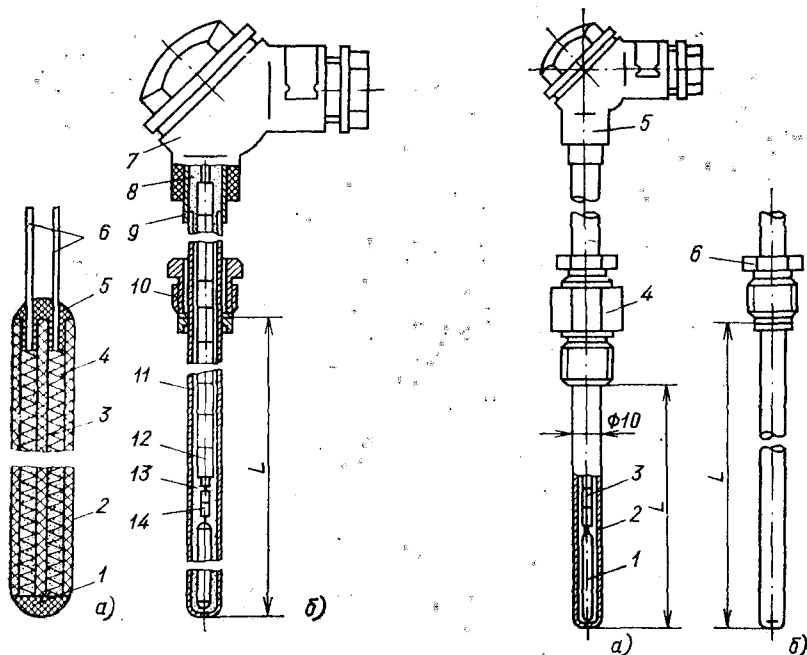


Рис. 4.4. Платиновый термопреобразователь сопротивления:

a — чувствительный элемент; *б* — конструкция преобразователя; 1, 5 — пробки; 2 — фарфоровая трубка с капиллярными отверстиями; 3 — платиновая спираль; 4 — керамический порошок; 6 — выводные провода; 7 — бакелитовая головка; 8 — герметизирующая мастика; 9 — стальная втулка; 10 — штуцер; 11 — защитный чехол; 12, 14 — фарфоровые бусы; 13 — окись алюминия

Рис. 4.5. Медный термопреобразователь сопротивления:

a — с подвижным штуцером; *б* — с неподвижным штуцером; 1 — чувствительный элемент; 2 — защитный чехол; 3 — фарфоровые бусы; 4 — подвижный штуцер; 5 — бакелитовая головка; 6 — неподвижный штуцер

в конденсационных манометрических термометрах — ацетон, метил хлористый, фреон.

Класс точности манометрических термометров — 1; 1,5; 2,5; 4.

Вероятность безотказной работы манометрических термометров в течение 2000 ч не менее 0,9.

Типы манометрических термометров и их основные технические характеристики приведены в табл. 4.2—4.7.

4.4. Термопреобразователи сопротивления

Принцип действия термопреобразователей сопротивления основан на изменении электрического сопротивления проводников и полупроводников в зависимости от температуры.

Измерение температуры сводится к измерению электрического сопротивления термопреобразователя с помощью электроизмерительных приборов, в качестве которых применяются магнитоэлектрические логометры и уравновешенные и неуравновешенные мосты.

Металлические термопреобразователи сопротивления. Наиболее широкое распространение получили платиновые (ТСП) и медные (ТСМ) термопреобразователи. На рис. 4.4 показано устройство платинового термопреобразователя сопротивления типа ТСП-5071, а на рис. 4.5 — медного термопреобразователя сопротивления типа ТСМ-5071.

Основные параметры и характеристики термопреобразователей сопротивления приведены в табл. 4.8—4.18.

Полупроводниковые термопреобразователи сопротивления представляют собой непроволочные объемные существенно нелинейные резисторы различной формы (рис. 4.6). В отличие от металлических терморезисторов они имеют отрицательный температурный коэффициент, т. е. при нагревании уменьшают свое сопротивление. Диапазон измерения — от -60 до ± 180 °С.

Полупроводниковые терморезисторы имеют значительное удельное электрическое сопротивление, что позволяет получать из них компактные и малонерци-

Таблица 4.8. Основные параметры термопреобразователей (по ГОСТ 6651—78)

Тип преобразователя	Номинальное сопротивление при 0 °С, Ом	Условное обозначение номинальной статической характеристики	Диапазон измеряемых температур, °С
ТСП	1	1П	От -50 до $+1100$
	5	5П	От -100 до $+1100$
	10	10П	От -200 до $+1000$
	(46)	(гр. 21)	От -200 до $+650$
	50	50П	От -260 до $+1000$
	100	100П	От -260 до $+1000$
500	500П	От -260 до $+300$	
ТСМ	10	10М	От -50 до $+200$
	50	50М	От -50 до $+200$
	(53)	(гр. 23)	От -50 до $+180$
	100	100М	От -200 до $+200$

Примечания: 1. Термопреобразователи с номинальными сопротивлениями и градуировками, указанными в скобках, в новых разработках не применять.

2. Пределы измерений термопреобразователей могут находиться внутри диапазонов, указанных в таблице.

Таблица 4.9. Допустимое отклонение сопротивления термопреобразователей

Тип преобразователя	Допустимое отклонение номинального значения при 0 °С, %, для классов				
	I	II	III	IV	V
ТСП	$\pm 0,5$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	$\pm 0,8$
ТСМ	—	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$

Таблица 4.10. Отношение сопротивления преобразователей при 100 °С к сопротивлению при 0 °С

Тип преобразователя	R_{100}/R_0 для классов				
	I	II	III	IV	V
ТСП	1,3910	1,3910	1,3910	1,3910	1,3910
	+0,0015	+0,0015	+0,0015	+0,0015	+0,0015
ТСМ	—	1,4280 ± 0,0010	1,4280 ± 0,0020	1,4280 ± 0,0030	1,4280 ± 0,0050
	-0,0005	-0,0010	-0,0020	-0,0030	-0,0050

Таблица 4.11. Показатель тепловой инерции преобразователей

Исполнение преобразователя	Показатель тепловой инерции
Малой инерционности (МИ), с, не более	10
Средней инерционности (СИ), с, не более	60
Большой инерционности (БИ), с, не более	60

Таблица 4.12. Номинальная статическая характеристика 100П платинового термопреобразователя в диапазоне температур от -260 до +750 °С

Температура, °С	Сопротивление, Ом	Температура, °С	Сопротивление, Ом
-260	0,406	+300	213,779
-200	17,307	+400	249,358
-100	59,621	+500	283,760
-0	100,000	+600	316,960
+0	100,000	+700	348,931
+100	139,113	+750	364,470
+200	177,033		

Примечание. Для статических характеристик 10П и 1П значения сопротивлений разделить на 10 и 100 соответственно.

Таблица 4.13. Номинальная статическая характеристика 50П платинового термопреобразователя в диапазоне температур от -260 до +750 °С

Температура, °С	Сопротивление, Ом	Температура, °С	Сопротивление, Ом
-260	0,203	+200	88,516
-200	8,654	+300	106,889
-100	29,810	+400	124,679
-0	50,000	+500	141,880
+0	50,000	+600	158,480
+100	69,556	+700	174,465
		+750	182,235

Примечание. Для статических характеристик 500П и 5П значения сопротивлений умножить на 10 и разделить на 10 соответственно.

Таблица 4.14. Номинальная статическая характеристика гр. 21 платинового термопреобразователя в диапазоне температур от -200 до +650 °С

Температура, °С	Сопротивление, Ом	Температура, °С	Сопротивление, Ом
-200	7,95	+300	98,34
-100	27,44	+400	114,72
-0	46,00	+500	130,55
+0	46,00	+600	145,85
+100	63,99	+650	153,30
+200	81,43		

Таблица 4.15. Номинальная статическая характеристика 100М медного термопреобразователя в диапазоне температур от -200 до +200 °С

Температура, °С	Сопротивление, Ом	Температура, °С	Сопротивление, Ом
-200	12,160	+0	100,000
-100	56,610	+100	142,800
-0	100,000	+200	185,583

Примечание. Для статической характеристики 10М значения сопротивлений разделить на 10.

Таблица 4.16. Номинальная статическая характеристика 50М медного термопреобразователя в диапазоне температур от -50 до +200 °С

Температура, °С	Сопротивление, Ом	Температура, °С	Сопротивление, Ом
-50	39,240	+100	71,400
-0	50,000	+200	92,791
+0	50,000		

Таблица 4.17. Номинальная статическая характеристика гр. 23 медного термопреобразователя в диапазоне температур от -50 до +180 °С

Температура, °С	Сопротивление, Ом	Температура, °С	Сопротивление, Ом
-50	41,71	+100	75,58
-0	53,00	+180	93,64
+0	53,00		

онные термометры с большим сопротивлением (1—1000 кОм) и, следовательно не учитывать влияние изменения температуры окружающего воздуха на сопротивление линий, соединяющих терморезисторы с вторичными приборами.

Терморезисторы могут применяться в качестве компенсаторов температурной погрешности в электрических схемах.

Характеристики некоторых терморезисторов приведены в табл. 4.19.

Таблица 4.18. Характеристики термопреобразователей сопротивления

Тип преобразователя	Пределы измерения, °С	Показатель тепловой инерции, с	Максимальное условное давление, МПа	Длина монтажной части, мм
ТСП-5071 (одинарный)	От -200 до +600	40	0,4; 6,4	120—2000
ТСП-5071 (двойной)	От -200 до +600	40; 20	0,4; 6,4	120—2000
ТСП-5081-01	От -50 до +200	9	32	80—500
ТСП-6097	От -50 до +250	9; 30	0,4; 4	80—500
ТСП-410-01	0—120	9	0,4	120—1600
ТСП-75-01	От -50 до +200	30	25; 50	100—500
ТСП-8012	0—50	20	—	108×65×16
ТСП-8051	От -200 до +500	20	2,5; 6; 4; 50	120—500
ТСП-8053	0—400	7	0,6	120—2000
ТСМ-75-01	От -50 до +150	30	25; 50	100—500
ТСМ-410-10	0—120	9	0,4	120—1600
ТСМ-5071	От -50 до +150	40; 20	0,4; 6,4	120—200
ТСМ-6097	От -50 до +150	20; 30	0,4; 4	80—500
ТСМ-6114	50—100	120	0,1	—
ТСМ-8012	0—50	240	0,1	—

Примечание. Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч не менее 0,9.

Таблица 4.19. Характеристики терморезисторов

Терморезисторы	Температурный коэффициент сопротивления, %/К	Мощность рассеивания, мВт	Инерционность, с	Сопротивление при 20 °С, кОм	Долговечность, ч
ММТ-1	От -2,4 до -5,0	1,3—600	85	1—220	5000
КМТ-1	От -4,2 до -8,4	1,0—1000	85	22—1000	5000
ММТ-4	От -2,4 до -5,0	2,0—700	115	1—220	5000
КМТ-4	От -4,2 до -8,4	1,0—1100	115	22—1000	5000
ММТ-4Е	-2,4	2,0—400	115	1—220	10 000
КМТ-4Е	-4,2	1,0—500	115	22—1000	10 000
ММТ-6	От -2,4 до -5,0	0,3—50	35	10—100	5000
ММТ-8	От -2,4 до -4,0	10,0—600	—	0,001—1	5000
КМТ-8	От -4,2 до -8,4	3,0—600	—	0,1—10	5000
ММТ-9	От -2,4 до -5,0	10	—	0,01—4,7	5000
ММТ-12	От -2,4 до -4,0	3	30	0,0047—1	5000
ММТ-13	—	—	—	0,01—2,2	—
КМТ-12	От -4,2 до -8,4	1,3	30	0,1—10	5000
КМТ-17	От -4,2 до -7,0	0,5	30	0,33—22	3000

4.5. Термоэлектрические преобразователи

Действие термоэлектрических преобразователей основано на свойстве металлов и сплавов создавать термоэлектродвижущую силу (термо-ЭДС), зависящую от температуры места соединения (спая) концов двух разнородных проводников (термоэлектродов).

Измерение температуры сводится к измерению термо-ЭДС термоэлектрического преобразователя при помощи электроизмерительных приборов, в качестве которых применяются магнитоэлектрические милливольтметры и потенциометры.

Соединение термоэлектрических преобразователей с вторичными измерительными приборами осуществляется специальными удлинительными проводами.

Устройство термоэлектрического преобразователя показано на рис. 4.7.

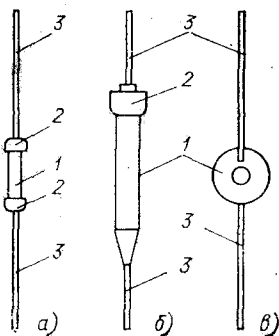


Рис. 4.6. Терморезисторы:
а — цилиндрические типов КМТ-1 и ММТ-1; б — цилиндрические защищенные типов КМТ-4 и ММТ-4; в — шайбовый типа ММТ-13; 1 — полупроводниковый элемент; 2 — контактный колпачок; 3 — вывод

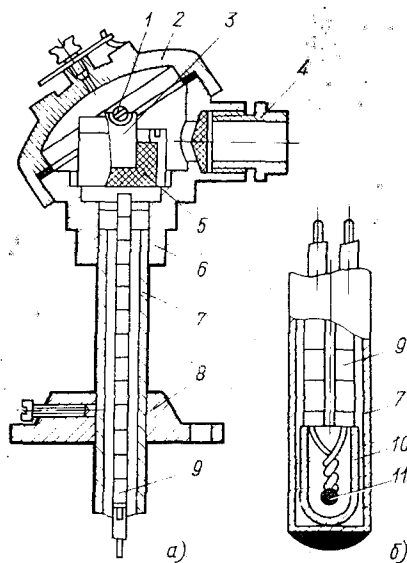


Рис. 4.7. Устройство термоэлектрического преобразователя:

а — конструкция преобразователя; б — чувствительный элемент в защитном чехле; 1 — винты зажимов; 2 — крышка головки; 3 — подвижные зажимы; 4 — штуцер выводной; 5 — фарфоровая колодка; 6 — головка; 7 — защитный чехол; 8 — подвижный фланец; 9 — фарфоровые бусы; 10 — фарфоровый наконечник; 11 — горячий спай термопары

По ГОСТ 6616—74 изготавливаются термоэлектрические преобразователи следующих типов: ТВР-ТП — вольфрамрениевые; ТПР-ТП — платинородиевые; ТПП-ТП — платинородий-платиновые; ТХА-ТП — хромель-алюмелевые; ТХК-ТП — хромель-копелевые.

Основные параметры и характеристики термопреобразователей приведены в табл. 4.20—4.27.

Таблица 4.25.
Градуировочная характеристика преобразователей типа ТХК

Температура, °С	Термо-ЭДС, мВ
— 0	0,000
+ 0	0,000
+100	6,898
+200	14,570
+300	22,880
+400	31,480
+500	40,270
+600	49,090
+700	66,420
+800	57,820

Таблица 4.26.
Градуировочная характеристика преобразователей типа ТВР

Температура, °С	Термо-ЭДС, мВ	Температура, °С	Термо-ЭДС, мВ
0	0,000	1000	16,136
100	1,330	1100	17,666
200	2,869	1200	19,146
300	4,519	1300	20,576
400	6,209	1400	21,963
500	7,909	1500	23,303
600	9,598	1600	24,590
700	11,273	1700	25,820
800	12,929	1800	26,999
900	14,556		

Таблица 4.27. Характеристики термоэлектрических преобразователей

Тип преобразователя	Пределы измерения, °С	Показатель тепловой инерции, с	Условное давление, МПа
ТХА-76-01	От —50 до +600	5	32
ТХА-280М	0—900	5	24
ТХА-745-01	0—600	2	0,6
	0—800		
ТХА-746-01	0—600	2	0,6
	0—800		
ТХА-775	0—800	20	0,4; 6,4
ТХА-0515 (одинарный)	От —50 до +900	40; 20; 10	0,4; 6,4
ТХА-0515 (двойной)	От —50 до +600	40; 20; 10	0,4; 6,4
ТХА-0806	0—1000	210	0,25; 4
ТХА-1073	0—600	5	0,1
ТХА-1429	0—600	0,5	0,6
ТХА-1479	0—750	60	—
ТХА-1489	0—1000	Не нормирован	—
ТХА-2076	0—400	1,5; 1	0,6
ТХА-2077	0—400	0,5; 1	0,6
ТХКП-ХУШ	0—400	40	0,1
ТХК-76-01	От —50 до +400	0,5; 5	32
ТХК-301-01	0—200	5	0,6
ТХК-775	0—600	20	0,4; 6,4
ТХК-834	0—400	Не нормирован	0,1
ТХК-0063	0—550	40	0,1
ТХК-0073	0—550	40	0,1
ТХК-0083	0—300	25	20
ТХК-0274	0—520	Не нормирован	0,1
ТХК-0515 (одинарный)	От —50 до +600	40; 20; 10	0,4; 6,4

Тип преобразователя	Пределы измерений, °С	Показатель тепловой инерции, с	Условное давление, МПа
ТХК-0515 (двойной)	От -50 до +600	40; 20; 10	0,4; 6,4
ТХК-0806	0—600	210	0,25; 4
ТХК-1073	0—600	5	0,1
ТХК-1272	0—400	5	2,5
ТХК-1479	0—600	60	0,1
ТХК-1489	0—600	Не нормирован	0,1
ТХК-2076	0—400	0,5; 1	18
ТХК-2077	0—400	0,5; 1	18
ТХК-2175	30—300	20	0,1
ТПП-0555	0—1300	40	0,1
ТПП-1378	0—1300	Не нормирован	0,1
ТПР-0213	300—1600	60	4
ТПР-0555	300—1600	40	0,1
ТПР-1378	300—1600	Не нормирован	0,1
ТВР-251	100—1800	40	—
ТВР-0877	300—1800	10	0,1

Примечание. Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч не менее 0,9.

4.6. Пирометры излучения

Методы пирометрии излучения имеют безусловные преимущества перед контактными методами измерения температуры в следующих случаях: в температурных диапазонах и средах, где не может быть обеспечена долговременная устойчивость контактных термопреобразователей; при необходимости обеспечения высокого быстродействия; если контакт термопреобразователя с объектом измерения недопустим ввиду искажения им температурного поля.

Различают пирометры спектрального отношения, в которых измерение температуры тела определяется по его излучению при использовании зависимости

Таблица 4.28. Основные характеристики пирометров излучения

Тип пирометра	Диапазон измерения, °С	Быстродействие, с	Показатель визирования	Номинальное расстояние до объекта, мм
ОМП-054	800—4000	—	1/3000	170
ЛМП-066	800—4000	—	1/3000—1/4000	170
ВИМП-015М	400—4000	—	1/300	170
«Дромиль»	800—5000	—	1/100	700
ПИРС-019	20—300	2	1/6	—
АПИРС	30—2500	—	1/15—1/300	—
«Веселка-1»	1400—2800	0,5; 2,5	1/50—1/250	300
«Веселка-2»	750—1500	0,5; 2,5	1/25—1/200	300
«Веселка-3»	300—800	0,5	1/25; 1/50	300
«Веселка-4»	1300—3600	0,05; 2,5	1/25—1/400	300; 500
«Веселка-5»	500—1400	0,25; 2,5	1/25—1/100	300
«Веселка-6»	200—800	0,25; 2,5	1/15—1/50	300

Таблица 4.29. Характеристики пирометрических преобразователей

Тип преобразователя	Диапазон измерения, °С	Рабочий спектральный диапазон, мкм	Обозначение статической характеристики	Показатель визирования	Диаметр корпуса, мм
ППТ-121	400—1500	0,4—4	PK-15A	1: 25	25
ППТ-121-01	900—2000	0,4—4	PK-20A	1: 50	25
ППТ-121-02	1400—2500	0,4—2,5	PC-25A	1: 50	25
ППТ-131	100—400	0,4—8	PФ-4A	1: 15	50
ППТ-131-01	300—600	0,4—8	PФ-6A	1: 25	50
ППТ-131-03	400—1500	0,4—4	PK-15A	1: 50	50
ППТ-131-05	900—2000	0,4—4	PK-20A	1: 100	50
ППТ-131-07	1400—2500	0,4—2,5	PC-25A	1: 100	50
ППТ-142	30—300	0,4—14	P-3	1: 50	100
ПЧД-111	800—1300	0,7—1,1	ДК-13	1: 25	13
ПЧД-111-01	1000—2000	0,7—1,1	ДК-20	1: 50	13
ПЧД-111-02	1500—2500	0,7—1,1	ДК-25	1: 100	13
ПЧД-111-03	700—1100	0,8—1,8	ДГ-11	1: 25	13
ПЧД-111-04	600—1300	0,8—1,8	ДГ-13	1: 50	13
ПЧД-111-05	1100—1700	0,8—1,8	ДГ-17	1: 100	13
ПЧД-111-06	800—1300	0,7—1,1	ДК-13	1: 25	13
ПЧД-111-07	1000—2000	0,7—1,1	ДК-20	1: 50	13
ПЧД-111-08	1500—2500	0,7—1,1	ДК-25	1: 100	13
ПЧД-111-09	700—1100	0,8—1,8	ДГ-11	1: 25	13
ПЧД-111-10	600—1300	0,8—1,8	ДГ-13	1: 50	13
ПЧД-111-11	1100—1700	0,8—1,8	ДГ-17	1: 100	13
ПЧД-121	800—1300	0,7—1,1	ДК-13	1: 50	25
ПЧД-121-01	1000—2000	0,7—1,1	ДК-20	1: 100	25
ПЧД-121-02	1500—2500	0,7—1,1	ДК-25	1: 200	25
ПЧД-121-03	450—750	0,8—1,8	ДГ-7,5	1: 25	25
ПЧД-121-04	700—1100	0,8—1,8	ДГ-11	1: 50	25
ПЧД-121-05	600—1300	0,8—1,8	ДГ-13	1: 100	25
ПЧД-131	800—1300	0,7—1,1	ДК-13	1: 100	50
ПЧД-131-01	1000—2000	0,7—1,1	ДК-20	1: 200	50
ПЧД-131-02	1500—2500	0,7—1,1	ДК-25	1: 300	50
ПЧД-131-03	450—750	0,8—1,8	ДГ-7,5	1: 50	50
ПЧД-131-04	700—1100	0,8—1,8	ДГ-11	1: 300	50
ПЧД-131-05	600—1300	0,8—1,8	ДГ-13	1: 200	50
ПЧД-131-06	1100—1700	0,8—1,8	ДГ-17	1: 300	50

отношения спектральных плотностей энергетических яркостей в двух или нескольких длинах волн от температуры; пирометры визуальные с исчезающей нитью переменного накала, в которых измерение температуры тела определяется по тепловому излучению твердых или жидких тел в видимой или ближней инфракрасной области спектра; визуальные микропирометры с исчезающей нитью переменного накала, предназначенные для измерения температуры малых тел по их тепловому излучению в видимой или ближней инфракрасной области спектра; пирометры полного излучения, в которых приемником служит термобатарея; пирометры частичного излучения, в которых измерение температуры тела определяется по его излучению при использовании зависимости интегральной яркости излучения в ограниченном диапазоне длин волн от температуры.

Пирометры подразделяют на стационарные и переносные. Стационарные пирометры рассчитаны на длительное непрерывное измерение температуры, а переносные — на повторно-кратковременное измерение.

Отечественные пирометры отличаются практически неограниченным верхним пределом измерения, быстродействием, широкой областью применения, высокой надежностью и точностью, взаимозаменяемостью.

К основным узлам пирометров излучения относятся: оптическая система, фокусирующая на термоэлектрический приемник излучение нагретого тела, температура которого измеряется; термоприемник, состоящий из термобатарей, фотоэлемента, фотоумножителя, фотодиода, фоторезистора или другого чувствительного элемента; измерительные приборы; электронный оптический преобразователь и другие узлы. Типы и основные характеристики пирометров излучения приведены в табл. 4.28.

В АСУТП и локальных системах контроля и регулирования температуры применяется комплекс стационарных пирометрических преобразователей и пирометров типа АПИР-С. В состав комплекса АПИР-С входят: пирометрические преобразователи, предназначенные для непосредственного преобразования энергии теплового электромагнитного излучения в электрический сигнал; вторичные измерительные преобразователи (ПВ), предназначенные для преобразования сигнала пирометрического преобразователя в унифицированный выходной сигнал (постоянный ток 0—5 или 4—20 мА, напряжение постоянного тока 0—600 мВ или 0—10 В); монтажная и защитная арматуры.

Пирометрические преобразователи подразделяются на преобразователи полного излучения (ППП) и преобразователи частичного излучения (ПЧД). В преобразователях типа ППП в качестве приемника используются термоэлектрические батареи, в преобразователях типа ПЧД — германиевые и кремниевые фотодиоды. Характеристики пирометрических преобразователей приведены в табл. 4.29.

Таблица 4.30. Типы вторичных преобразователей ПВВ и ПВН

Тип измерительных преобразователей	БП	ПП	БИ	БУ	БЗ	БФ
ПВВ(ПВН)-00114; ПВВ(ПВН)-30114	+	+	+		+	+
ПВ(ПВН)-00110; ПВВ(ПВН)-30110	+	+			+	+
ПВ(ПВН)-00104; ПВВ(ПВН)-30104	+	+			+	
ПВ(ПВН)-00100; ПВВ(ПВН)-30100	+	+			+	
ПВ(ПВН)-00010; ПВВ(ПВН)-30010	+	+				+
ПВ(ПВН)-00004; ПВВ(ПВН)-30004	+	+				
ПВ(ПВН)-00000; ПВВ(ПВН)-30000	+	+				
ПВ(ПВН)-01111; ПВВ(ПВН)-31111	+	+		+	+	+
ПВ(ПВН)-01110; ПВВ(ПВН)-31110	+	+		+	+	+
ПВ(ПВН)-01100; ПВВ(ПВН)-31100	+	+		+	+	
ПВ(ПВН)-01010; ПВВ(ПВН)-31010	+	+		+		+
ПВ(ПВН)-01000; ПВВ(ПВН)-31000	+	+		+		
ПВ(ПВН)-02112; ПВВ(ПВН)-32112	+	+	+		+	+
ПВ(ПВН)-02110; ПВВ(ПВН)-32110	+	+		+	+	+
ПВ(ПВН)-02100; ПВВ(ПВН)-32100	+	+		+	+	
ПВ(ПВН)-02010; ПВВ(ПВН)-32010	+	+		+		+
ПВ(ПВН)-02000; ПВВ(ПВН)-32000	+	+		+		
ПВ(ПВН)-03113; ПВВ(ПВН)-33113	+	+		+	+	+
ПВ(ПВН)-03110; ПВВ(ПВН)-33110	+	+	+	+	+	+
ПВ(ПВН)-03100; ПВВ(ПВН)-33100	+	+		+	+	
ПВ(ПВН)-03010; ПВВ(ПВН)-33010	+	+		+		+
ПВ(ПВН)-03000; ПВВ(ПВН)-33000	+	+		+		

Преобразователи типа ППТ могут работать только с вторичными измерителями типов ПВВ-0 и ПВН-0, а преобразователи типа ПЧД — с ПВВ-3 и ПВН-3.

Вторичные преобразователи ПВВ — встраиваемые, ПВН — настенные. Вторичный измерительный преобразователь включает в себя следующие блоки: БП — блок питания; ПП — промежуточный преобразователь, преобразующий выходной сигнал пирометрического преобразователя в напряжение 0—2 В; БЗ — блок запоминания, обеспечивающий запоминание максимальных значений измеряемой температуры; БУ — блок выходного усилителя, преобразующий сигнал 0—2 В в унифицированные выходные сигналы; БИ — блок индикации, обеспечивающий отсчет измеряемых значений температуры; БФ — блок функциональный, обеспечивающий линеаризацию выходного сигнала.

Типы вторичных преобразователей приведены в табл. 4.30.

Глава 5

ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ И РАЗРЕЖЕНИЯ

5.1. Общие понятия

Давлением называется физическая величина, характеризующая интенсивность нормальных (перпендикулярных к поверхности) распределенных сил, с которыми одно тело действует на поверхность другого.

В Международной системе единиц (СИ) единицей давления является паскаль (Па). Паскаль — давление, создаваемое силой 1 Н, действующей на поверхность 1 м².

Соотношения между основной единицей (Па) и другими единицами давления приведены в табл. 5.1.

Различают абсолютное, барометрическое, избыточное, вакуумметрическое давление и вакуум.

Абсолютное давление — давление, отсчитываемое от абсолютного нуля (давление пустоты).

Барометрическое давление — давление, создаваемое атмосферой.

Таблица 5.1. Соотношения между единицами давления

Единица	Па	кгс/см ²	мм вод. ст.	мм рт. ст.
1 Па	1	$1,019716 \cdot 10^{-5}$	0,1019745	$0,750061 \cdot 10^{-2}$
1 кгс/см ²	98666,5	1	10000,28	735,559
1 мм вод. ст.	9,80638	$0,999972 \cdot 10^{-4}$	1	0,0735539
1 мм рт. ст.	133,322	$1,35951 \cdot 10^{-3}$	13,5955	1

Таблица 5.2. Характеристики основных типов преобразователей давления

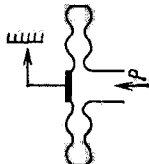
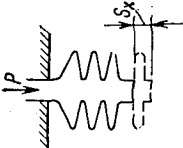
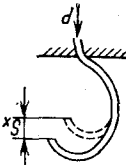


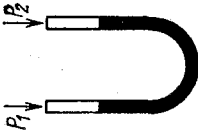
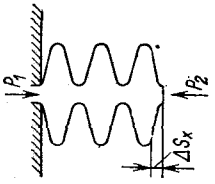
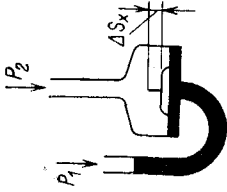
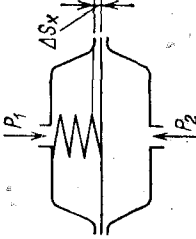
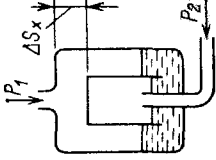
Преобразователь	Механический			Электромеханический	
	мембранный	сильфонный	пружинный	тензорезистивный	пьезоэлектрический
<p>Принципиальная схема преобразователя</p>     	<p>Перемещение мембраны</p> <p>1,0 — 1,5</p>	<p>Перемещение сильфона</p> <p>0,6 — 1,5</p>	<p>Перемещение пружины</p> <p>0,6 — 4,0</p>	<p>Изменение сопротивления тензорезистора</p> <p>0,6 — 1,0</p>	<p>Изменение напряжения</p> <p>0,5 — 1,5</p>
<p>Величина, характеризующая давление</p>					
<p>Погрешность измерения, %</p> <p>верхняя — нижняя</p>					

Таблица 5.3. Характеристики основных типов преобразователей перепада давления

Преобразователь	U-образный	Сильфонный	Поплавковый	Мембранный	Колокольный
Принципиальная схема преобразователя					
Величина, характеризующая перепад давления	Перемещение жидкости	Перемещение сильфона	Перемещение поплавка	Перемещение мембраны	Перемещение колокола
Погрешность измерения, % верхняя нижняя	$\frac{1,0}{2,0}$	$\frac{0,6}{2,5}$	$\frac{1,0}{2,5}$	$\frac{1,0}{1,5}$	$\frac{1,5}{2,0}$

Избыточное давление — давление сверх барометрического. В этом случае абсолютное давление будет равно сумме барометрического и избыточного давлений.

Вакуумметрическое давление (разрежение) — отрицательное избыточное давление, отсчитываемое от барометрического. В этом случае абсолютное давление будет равно разности барометрического и вакуумметрического (без учета знака) давлений. Это абсолютное давление и представляет собой *вакуум*.

Приборы для измерения давления называют манометрами.

По виду измеряемого давления манометры подразделяют на следующие группы:

манометры — приборы для измерения избыточного давления с верхним пределом от 60 кПа (0,6 кгс/см²) до 1000 МПа (10 000 кгс/см²);

вакуумметры — приборы для измерения вакуумметрических давлений (разрежений) с пределом измерений до минус 100 кПа (1 кгс/см²);

мановакуумметры — приборы для измерения избыточного и вакуумметрического давлений с верхними пределами избыточного давления от 0,06 МПа (0,6 кгс/см²) до 2,4 МПа (24 кгс/см²) и вакуумметрического давления — до минус 100 кПа (1 кгс/см²);

напорометры — манометры для измерения избыточных давлений, не превышающих 40 кПа (0,4 кгс/см²);

тягомеры — вакуумметры с верхним пределом измерения, не превышающим минус 40 кПа (0,4 кгс/см²);

тягонапорометры — мановакуумметры с пределами измерений, не превышающими 20 кПа (0,2 кгс/см²);

манометры абсолютного давления;

дифференциальные манометры — приборы для измерения разности двух давлений, из которых ни одно не является барометрическим;

микроманометры — дифференциальные манометры с верхним пределом измерения, не превышающим 4 кПа (0,04 кгс/см²).

По принципу действия манометры подразделяют на жидкостные, механические деформационные и электромеханические, в которых деформация упругого элемента преобразуется в электрический сигнал с помощью электрического измерительного преобразователя деформации или перемещения в электрический сигнал. В табл. 5.2 приведены характеристики наиболее широко применяемых в промышленности методов измерения давления, а в табл. 5.3 — методов измерения перепада давления.

5.2. Жидкостные манометры

В жидкостных манометрах или дифманометрах измеряемое давление или разность давлений уравнивается давлением столба жидкости. Мерой измеряемого давления в этих приборах является высота столба манометрической жидкости. Различают трубные, поплавковые, колокольные, кольцевые манометры (дифманометры).

Трубные манометры. К трубным манометрам относятся U-образные (двухтрубные) и чашечные (однотрубные) манометры. Приборы данного типа приме-

няются в качестве местных приборов, а также в качестве контрольных и образцовых приборов. На рис. 5.1 приведена схема U-образного манометра. Он состоит из U-образной стеклянной трубки, заполненной примерно до половины своей высоты рабочей жидкостью, и шкалы, позволяющей производить отсчет уровней в обоих коленях. Измеряемое давление, разрежение или разность давлений уравновешивается и измеряется столбом h рабочей жидкости, определяемым как сумма столбов h_1 и h_2 в обоих коленях.

На рис. 5.2 приведена схема чашечного (однотрубного) манометра, который состоит из цилиндрического сосуда и сообщающейся с ним измерительной стеклянной трубки. При измерении давления в объекте его соединяют с сосудом прибора. Высота столба жидкости h , уравновешивающего давление, и в этом случае равна сумме столбов h_1 и h_2 . Площадь сечения сосуда значительно больше пло-

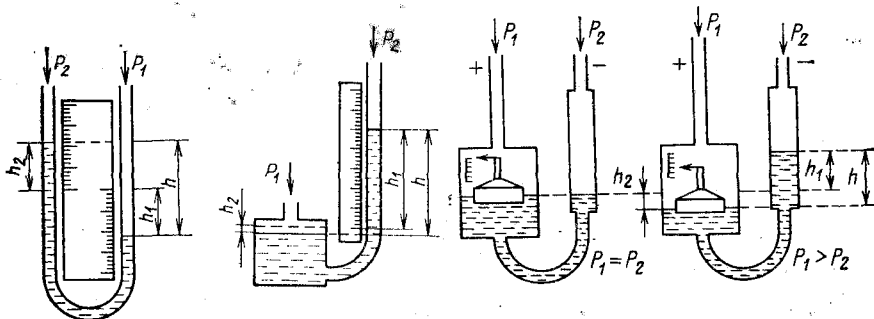


Рис. 5.1. Схема U-образного (двухтрубного) манометра

Рис. 5.2. Схема чашечного (однотрубного) манометра

Рис. 5.3. Схемы поплавковых дифманометров

щади сечения измерительной трубки. Поэтому столб h_2 значительно меньше столба h_1 . Столбом h_2 можно пренебречь или при измерениях вводить соответствующую поправку.

Т а б л и ц а 5.4. Технические характеристики трубных манометров

Наименование	Тип	Класс точности	Цена деления	Предел измерения, кПа
Дифманометр двухтрубный	ДТ-5	1,5	1 мм (10 Па)	2,6
	ДТ-50	1,5	0,25 кПа	150
Манометр чашечный однотрубный с наклонной трубкой	ММН-240	1,0	2; 3; 4; 6; 8 Па	0,6; 0,9; 1,2; 1,8; 2,4
Тягонапоромер жидкостный	ТНЖ-Н	1,5	1 мм (10 Па)	-0,25 ÷ 0 ÷ +0,25; -0,4 ÷ 0 ÷ +0,4; -0,63 ÷ 0 ÷ +0,63; -1 ÷ 0 ÷ +1; -1,6 ÷ 0 ÷ +1,6

Рабочей жидкостью в приборах могут быть дистиллированная вода, ртуть, этиловый спирт. В табл. 5.4 приведены технические характеристики трубных манометров.

Поплавковые дифманометры. Поплавковые дифманометры изготавливают по типу жидкостных чашечных манометров (рис. 5.3). Большее давление P_1 подается в широкий (плюсовый) сосуд, а меньшее P_2 — в сменный минусовый сосуд. Перемещение поплавка в плюсовом (широком) сосуде вследствие изменения уровня используется для измерения перепада. Сохраняя постоянный размер плюсового сосуда и изменяя диаметр и высоту минусового (узкого) сосуда, можно при одном и том же ходе поплавка измерять различные значения предельных перепадов.

Типы поплавковых дифманометров приведены в табл. 5.5.

Т а б л и ц а 5.5. Поплавковые дифманометры

Тип	Дополнительное устройство	Масса, кг	Тип	Дополнительное устройство	Масса, кг
Показывающие			Самопишущие		
ДП-778	Сигнальное устройство	46	ДП-710	—	46
ДП-778Р	То же	46	ДП-710ч	—	46
ДП-780	—	47	ДП-710Р	—	46
ДП-780Р	—	47	ДП-710чР	—	46
ДП-781Р	Интегратор	46	ДПМ-710	Интегратор	46
ДП-787	Пневмодатчик	46	ДПМ-710Р	Интегратор	45
ДП-787Р	»	46	ДПМ-710ч	—	45
ДПМ-780	»	45	ДПМ-710чР	—	45
ДПМ-780Р	»	45	ДПМ-712Р	—	46
ДПМ-787	»	45			
ДПМ-787Р	»	45			

Примечание. Буква Р означает «расходомер», буква ч — «привод диаграммы от часового механизма».

Колокольные дифманометры характеризуются наличием колокола (одного или двух), погруженного в манометрическую жидкость и перемещающегося под влиянием разности давлений (рис. 5.4). Противодействующая сила создается либо за счет утяжеления колокола при его подъеме и уменьшении его погружения в жидкость (способ гидростатического уравнивания), либо за счет механического уравнивания деформацией пружины или изменением момента, создаваемого грузом. Колокол, подвешенный на пружине, частично погружен на глубину в разделительную жидкость, налитую в сосуд. Колокол будет находиться в равновесии, а уровень жидкости на отметке 0—0 до тех пор, пока под колоколом и в сосуде над ним давления P_1 и P_2 одинаковы. При возникновении разности давлений равновесие сил, приложенных к колоколу, нарушается. Колокол переместится на величину H . Выпускаются колокольные дифманометры типов ДКОФМ и ДКО.

Дифманометры с ферродинамическим датчиком типа ДКОФМ являются бесшкальными первичными приборами, предназначенными для измерения избыточного и вакуумметрического давления, разности давлений и расхода неагрессивных

газов и преобразования измеряемой величины в пропорциональное значение комплексной взаимоиנדуктивности. Приборы работают в комплекте с вторичными миниатюрными ферродинамическими приборами типов ВФП, ВФС.

Модификации прибора: ДКОФМ-РФ (расходомер), ДКОФМ-ТФ (тягонапормер или напоромер), ДКОФМ-ТОФ (тягонапоромер). Масса 17 кг.

Дифманометры типа ДКО модели 3701 являются частью комплекта, предназначенного для дистанционного измерения следующих параметров неагрессивных газов: расхода, разности давлений, избыточного и вакуумметрического давления.

Дифманометры колокольные служат для преобразования измеряемой величины разности давлений (перепада) в электрический сигнал, который передается на вторичный прибор дифференциально-трансформаторной системы типов КПД1, КД-140, КВД1, КСД1, КСД2, КСД3. Масса 20 кг.

Кольцевой дифманометр представляет собой U-образный манометр, свернутый в кольцо и снабженный призматической опорой, позволяющей совершать колебания относительно центра его окружности. К обеим полостям кольцевой трубки, образованной перегородкой и рабочей жидкостью, с помощью резиновых или гибких металлических трубок подводятся давления. Угол поворота кольца определяется разностью подведенных давлений.

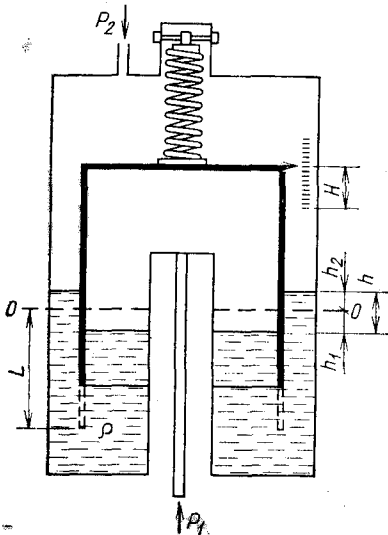


Рис. 5.4. Схема колокольного дифманометра

5.3. Деформационные манометры

Действие деформационных манометров основано на использовании зависимости между упругой деформацией чувствительного элемента и давлением.

В качестве чувствительного элемента применяются трубчатые пружины, мембраны, мембранные коробки, сифоны. Соответственно выпускаются пружинные, мембранные, сифонные манометры.

Пружинные манометры. На рис. 5.5 схематически показано устройство показывающего манометра с одновитковой трубчатой пружиной. Один конец трубчатой пружины 1 закреплен в держателе 7, скрепленном с корпусом манометра. Внизу держатель снабжен шестигранной головкой и радиальным штуцером 8 с резьбой для присоединения к объекту. Приборы могут изготавливаться и с осевым штуцером, располагаемым сзади корпуса прибора. Свободный конец пружины соединен с секторным передаточным механизмом, состоящим из поводка 4, сектора 5 и трибки 6, на оси которой укреплена стрелка 2. Спиральная пружина 3, прижимающая зубцы трибки к зубцам сектора, устраняет мертвый ход.

Таблица 5.6. Приборы с трубчатой пружиной

Наименование	Тип	Верхние пределы измерения, МПа
Манометры показывающие общего назначения	ОБМ1-100 ОБМ1-1006 МОШ1-100 ОБМГн1-100 ОБМГн1-1006 ГМ-100 МТП-100	0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0 10,0; 16,0; 25,0
	ОБМ1-160 ОБМ1-1606 МОШ1-160 ОБМГн1-160 ОБМГн1-1606 МГнОШ1-160 ОБМГв1-160 ОБМГв1-1606 ГМ-160 ГМОШ-160 МТП-160	0,06; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0; 16,0; 25,0; 40,0; 60,0 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0 16,0; 25,0; 40,0; 60,0 100,0; 160,0 10,0; 16,0; 25,0; 40,0; 60,0 0,06; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 16,0; 25,0; 40,0; 60,0; 100,0; 160,0
	МП-5	0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0; 16,0; 25,0; 40,0; 60,0
Мановакуумметры показывающие общего назначения	ОБМВ1-100 ОБМВ1-1006 МВОШ-100 МВТП-100 ОБМВ1-160 ОБМВ1-1606 МВОШ1-160 МВТП1-160	От минус 0,1 до плюс 0,06; 0,15; 0,3; 0,5; 0,9; 1,5; 2,4
Вакуумметры показывающие общего назначения	ОБВ1-100 ОБВ1-1006 ВОШ1-100 ВТП-100 ОБВ1-160 ОБВ1-1606 ВОШ1-160 ВТП-160	От минус 0,1 до 0
Манометры аммиачные	АМУ-1	0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0
	АМУ-2	16,0; 25,0; 40,0; 60,0
Мановакуумметр аммиачный	АМВУ-1	От минус 0,1 до плюс 0,5; 0,9; 1,5; 2,4

Наименование	Тип	Верхние пределы измерения, МПа
Манометр для фреона	ОБМ1-1006ф	2,5
Мановакуумметр для фреона	ОБМВ1-1006ф	От минус 0,1 до плюс 1,5; 2,4
Манометры для измерения давления воздуха, кислорода, нейтральных горючих газов	МТ-1 МТ-2 МТ-3 МТ-4	0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0; 16,0; 25,0; 40,0
Манометры для измерения давления воздуха, неагрессивных жидкостей, газов и паров	М1Д-1 М1Д-2 М1Д-3 М1Д-4 М1Д-5 М1Д-6 М1Д-7 М1Д-8 М1Д-9 М1Д-10 М1Д-11 М1Д-12 М1Д-13	0,16 0,2 0,25 0,4 0,6 1,0 1,6 2,5 4,0 6,0 10,0 16,0 25,0
Манометры для измерения давления кислорода	ММ-40С1 ММ-40С2 ММ-40С3	4,0 25,0 25,0
Манометры электроконтактные	ЭКМ-1У ЭКМ-2У ВЭ-16Р6	0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0; 16,0; 25,0; 40,0; 60,0; 100,0; 160,0 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0; 16,0; 25,0; 40,0; 60,0; 100,0; 160,0
Мановакуумметры электроконтактные	ЭКМВ-1У ВЭ-16Р6	От минус 0,1 до плюс 0,06; 0,15; 0,3; 0,5; 0,9; 1,5; 2,4
Вакуумметры электроконтактные	ЭКВ-1У ВЭ-16Р6	От 0,1 до 0
Манометры с дифференциально-трансформаторной системой	МЭД-2364 МЭД-2365	0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6 2,5; 4,0; 6,0; 10,0; 16,0; 25,0; 40,0; 60,0; 100,0; 160,0

Наименование	Тип	Верхние пределы измерения, МПа
Мановакуумметры с дифференциально-трансформаторной системой	МЭД-2364 МЭД-2365	От минус 0,1 до плюс 0,06; 0,15; 0,3; 0,5; 1,5 От минус 0,1 до плюс 2,4
Вакуумметр с дифференциально-трансформаторной системой	МЭД-2364	От минус 0,1 до 0
Манометры с сигнальным устройством Манометры с пневматическим выходным сигналом Манометры с электрическим выходным сигналом	МП4-III МП4-IV МП4-V МП4-VI	0,06; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0; 16,0; 25,0; 40,0; 60,0; 100,0; 160,0
Мановакуумметры с сигнальным устройством Мановакуумметры с пневматическим выходным сигналом Мановакуумметры с электрическим выходным сигналом	МВП4-III МВП4-IV МВП4-V МВП4-VI	От минус 0,1 до плюс 0,06; 0,15; 0,3; 0,5; 0,9; 1,5; 2,4
Вакуумметры с сигнальным устройством Вакуумметры с пневматическим выходным сигналом Вакуумметры с электрическим выходным сигналом	ВП4-III ВП4-IV ВП4-V ВП4-VI	От минус 0,06 до 0; от минус 0,1 до 0
Манометр однозаписной	МТС-711 МТС-712	0,06; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0
Манометр двухзаписной	MT2C-711 MT2C-712	10,0; 16,0; 25,0; 40,0; 60,0; 100,0; 160,0
Манометр с пневматическим регулирующим устройством	MT-711P MT-712P	0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0; 16,0; 25,0; 40,0; 60,0; 100,0; 160,0
Мановакуумметр однозаписной Мановакуумметр двухзаписной	МВТС-711 МВТС-712 МВТ2C-711 МВТ2C-712	От минус 0,1 до плюс 0,06; 0,15; 0,3; 0,5; 0,9; 1,5
Мановакуумметр с пневматическим регулирующим устройством	МВТ-711P МВТ-712P	От минус 0,1 до плюс 0,5; от минус 0,1 до плюс 0,9

Наименование		Тип	Верхние пределы измерения, МПа
Вакуумметр ной	однозапис-	ВТС-711	От минус 0,06 до 0; от минус 0,1 до 0
Вакуумметр ной	двухзапис-	ВТС-712	
		ВТ2С-711	
		ВТ2С-712	

Датчики давления ГСП (пневматические)

Манометр	МП-П2-9112	4,0; 6,0; 10,0
	МП-П3-9113	16,0; 25,0; 40,0
	МП-П4-9114	60,0; 100,0
	МСВ-П1-9181	100,0
	МСВ-П2-9182	160,0
	МСВ-П3-9183	250,0
	МСВ-П4-9184	400,0
	МСВ-П5-9185	600,0
	МСВ-П6-9186	1000,0

Датчики давления ГСП электрические с выходным сигналом 5 мА

Манометр	МП-Э2-9512	4,0; 6,0; 10,0
	МП-Э3-9513	16,0; 25,0; 40,0
	МП-Э4-9514	60,0; 100,0
	МСВ-Э1-9581	100,0
	МСВ-Э2-9582	160,0
	МСВ-Э3-9583	250,0
	МСВ-Э4-9584	400,0
	МСВ-Э5-9585	600,0
	МСВ-Э6-9586	1000,0

Датчики давления электрические с выходным сигналом 20 мА

Манометр	МП-Э2-9212	4,0; 6,0; 10,0
	МП-Э3-9213	16,0; 25,0; 40,0
	МП-Э4-9214	60,0; 100,0
	МСВ-Э1-9281	100,0
	МСВ-Э2-9282	160,0
	МСВ-Э3-9283	250,0
	МСВ-Э4-9284	400,0
	МСВ-Э5-9285	600,0
	МСВ-Э6-9286	1000,0

Под влиянием измеряемого давления трубчатая пружина деформируется и тянет поводок. Поводок поворачивает зубчатый сектор и трибку со стрелкой. Передвигающаяся вдоль шкалы стрелка показывает значение измеряемого давления.

Манометры с трубчатой пружиной могут иметь электроконтактное устройство, устройство дистанционной передачи; могут быть со шкалой и бесшкальными.

Основные характеристики манометров с трубчатой пружиной приведены в табл. 5.6.

Мембранные манометры (дифманометры). На рис. 5.6 приведена схема дифманометра типа ДМ с дифференциально-трансформаторным датчиком. Чувствительным элементом является мембранный блок, состоящий из двух мембранных

коробок 1 и 3, закрепленных в основании 2. Основание с верхней и нижней крышками корпуса прибора образует две камеры: нижнюю «плюсовую» и верхнюю «минусовую». Внутренние полости мембранных коробок, заполненные дистиллированной водой, сообщаются через отверстие в перегородке.

С центром мембраны верхней коробки с помощью немагнитного штока жестко связан сердечник 4 дифференциально-трансформаторного преобразователя 5. Сердечник находится внутри разделительной трубки 6, изготовленной из немагнитной нержавеющей стали. Характеристики дифманометров типа ДМ приведены в табл. 5.7.

На рис. 5.7 приведена схема дифманометра мембранного типа ДМ-ЭР (ДМ-Э) с унифицированным выходным сигналом постоянного тока 0—5 или

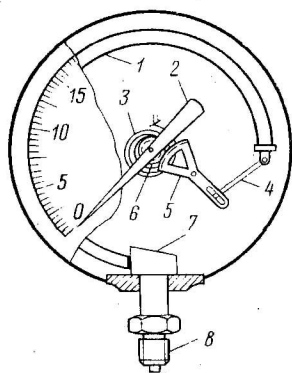


Рис. 5.5. Манометр с одновитковой трубчатой пружиной

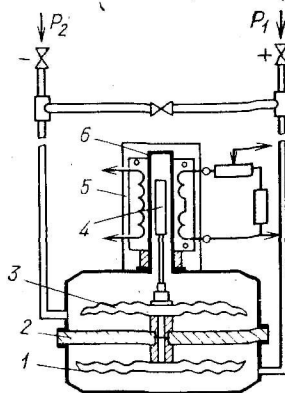


Рис. 5.6. Дифманометр мембранный типа ДМ

0—20 мА. Он состоит из измерительного блока ИБ и электросилового квадратичного преобразователя ЭКП.

Давление подводится по импульсным трубкам 5.

Измеряемый перепад давления ($P_1 - P_2$) воспринимается чувствительным элементом 2, связанным с помощью рычагов с преобразователем, и преобразуется им в пропорциональное усилие q , которое с помощью рычажной системы 16 преобразователя автоматически уравнивается усилием $q_{о.с.}$, развиваемым силовым устройством обратной связи 17 при протекании в нем постоянного тока. При изменении измеряемого перепада давления происходит изменение сигнала, вырабатываемого индикатором рассогласования 18 преобразователя. Этот сигнал рассогласования усиливается и преобразуется усилителем 19 в выходной сигнал постоянного тока, который поступает в линию дистанционной передачи к вторичному прибору или другому устройству и одновременно в обмотку силового устройства обратной связи.

Значение выходного сигнала постоянного тока пропорционально у дифманометров-расходомеров ДМ-ЭР измеряемому расходу, у дифманометров ДМ-Э

Таблица 5.7. Приборы мембранные (датчики)

Наименование	Тип	Давление, МПа	Перепад давления, кПа
Дифманометры взаимозаменяемые дифтрансформаторные	ДМ-3577	63	40; 63; 100; 160; 250; 400; 630
	ДМ-3564	6,3	1,6; 2,5; 4; 6,3; 10; 16;
	ДМ-3566	25	25; 40; 63; 100; 160;
	ДМ-3537	25	250; 400; 630
	ДМ-3537Ф	25	
Дифманометры взаимозаменяемые дифтрансформаторные	ДМ-3582	63	40; 63; 100; 160; 250; 400; 630
	ДМ-23573	6,3	1,6; 2,5; 4; 6,3; 10; 16;
	ДМ-23574	25	25; 40; 63; 100; 160;
	ДМ-3583	16	250; 400; 630
Дифманометры с пневматическим выходным сигналом	ДМ-П1	0,25	0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1,0
	ДМ-П2	1	1; 1,6; 2,5; 4; 6
Дифманометры с электрическим выходным сигналом 5; 20 мА	ДМ-Э1	0,25	0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1,0
	ДМ-Э2	1	1,0; 1,6; 2,5; 4; 6
Дифманометры-расходомеры с электрическим выходным сигналом 5; 20 мА	ДМ-ЭР1	0,25	0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1,0
	ДМ-ЭР2	1	1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0
Дифманометр с электрическим выходным сигналом 0—5 мА	ДМЭ	40	1,6—40; 63—630
Дифманометр-расходомер с электрическим выходным сигналом 0—5 мА	ДМЭР	40	4—40; 63—630

с электросиловым линейным преобразователем — измеряемому перепаду давления.

В качестве чувствительного элемента в измерительном блоке дифманометра ДМ-ЭР (или ДМ-Э) применена неметаллическая мембрана 2 с жестким центром. Эта мембрана разделяет измерительную камеру, образованную фланцами 1 и 13, на две полости. В правую полость через запорный вентиль и трубку подводится давление P_1 , а в левую — давление P_2 ($P_2 < P_1$). Два конусных диска 4, стягиваемых в центре гайками 12 и штоком 6, придают чувствительному элементу необходимую прочность при воздействии одностороннего перегрузочного давления. Сила, создаваемая жестким центром чувствительного элемента, воспринимается двумя плоскими пружинами 3, обеспечивающими свободу перемещения мембраны в направлении тягового усилия. Связь жесткого центра чувствительного элемента с выводом рычага 9 осуществляется с помощью ленточной тяги 11, изготовленной

из упругого материала. Вывод рычага 9 из плюсовой полости с рабочим давлением уплотнен с помощью мембраны 8, прижатой по внутреннему диаметру рычагом траверсы 15 к кромке рычага 9. Наружный контур мембраны прижат к основанию 10 колодкой. Две упругие ленты 14 удерживают рычаг 9 от осевого перемещения при воздействии на мембрану рабочего давления. Конструкция вывода обеспечивает возможность поворота рычага 9 относительно условной оси, образованной пересечением плоскостей, в которых расположены мембрана и упругие ленты.

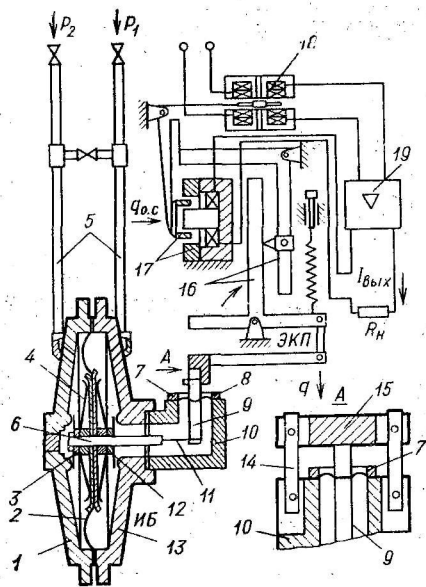


Рис. 5.7. Дифманометр мембранный электрический типа ДМ-ЭР (ДМ-Э)

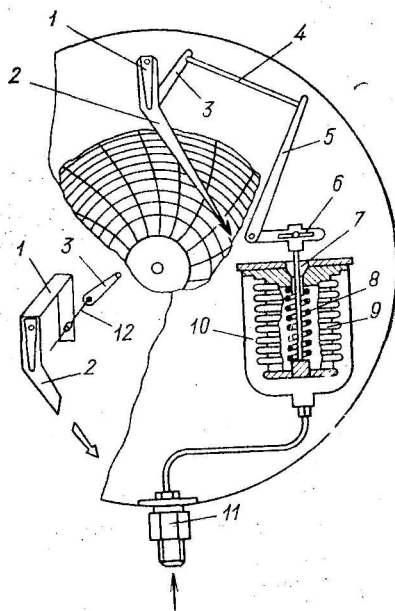


Рис. 5.8. Манометр самопишущий типа МСС

Характеристики дифманометров типа ДМ-ЭР (ДМ-Э) приведены в табл. 5.7.

Манометры сифонные. К приборам данного вида относятся манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры, тягонапоромеры, дифманометры сифонные.

На рис. 5.8 приведена схема самопишущего манометра типа МСС. Сиффон 9 в целях его разгрузки снабжен винтовой пружиной 8, которая вместе с ним создает противодействующую силу. Объект, где необходимо измерять избыточное давление, присоединяется к штуцеру 11, соединенному трубкой с камерой 10. Под действием давления среды сиффон с винтовой пружиной деформируется, и дно его поднимает шток 7. Шток, перемещая рычаг 6, поворачивает рычаг 5, который посредством тяги 4 и рычага 3 поворачивает ось 12 и сидящий на ней П-образный рычаг 1, несущий перо 2. Запись измеряемого давления производится на дисковой диаграмме.

Характеристики сифонных манометров приведены в табл. 5.8.

Таблица 5.8. Манометры сиффонные

Наименование	Тип	Верхние пределы измерения, кПа
Напоромер самопишущий	НС-711 НС-712	0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40
Напоромер показывающий Напоромер показывающий с пневматическим выходным сигналом Напоромер показывающий с сигнальным устройством	НС-718 НС-718П НС-717Сг	6; 10; 16; 25; 40
Тягомер самопишущий	ТМС-711 ТМС-712	От — 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40 до 0
Тягомер показывающий Тягомер показывающий с пневматическим выходным сиг- налом Тягомер показывающий с сигнальным устройством	ТМС-718 ТМС-718П ТМС-717Сг	От — 6; 10; 16; 25; 40 до 0
Тягонапоромер самопишу- щий	ТНС-711 ТНС-712	±0,08; 0,125; 0,2; 0,3; 0,5; 0,8; 1,25; 2; 3; 5; 8; 12,5; 20
Тягонапоромер показываю- щий Тягонапоромер показываю- щий с пневматическим выход- ным сигналом Тягонапоромер с сигнальным устройством	ТНС-718 ТНС-718П ТНС-717Сг	±3; 5; 8; 12,5; 20
Манометр с пневматическим регулирующим устройством	МС-711Р МС-712Р	25; 40; 60; 100; 160; 250; *400
Мановакуумметр с пневма- тическим регулирующим уст- ройством	МВС-711Р МС-712Р	(—100)—(+60); (—100)—(+150); (—100)—(+300)
Вакуумметр с пневматиче- ским регулирующим устройст- вом	ВС-711Р ВС-712Р	(—60)—(0); (—100)—(0)

Датчики давления с пневматическим выходным сигналом

Напоромер	НС-П1-9174 НС-П2-9175 НС-П3-9176	0,4; 0,63; 1; 1,6 2,5; 4; 6,3 10; 16; 25; 40
Манометр	МС-П1-9121 МС-П2-9124	40; 60; 100; 160; 250; 400 600; 1000; 1600; 2500

Наименование	Тип	Верхние пределы измерения, кПа
Тягомер	ТС-П1-9171 ТС-П2-9172 ТС-П3-9173	От — 0,4; 0,63; 1; 1,6; 2,5 до 0 От — 2,5; 4; 6,3; 10 до 0 От — 16; 25; 40 до 0
Вакуумметр	ВС-П1-9123	От — 40; 60; 100 до 0
Тягонапоромер	ТНС-П1-9174 ТНС-П2-9175 ТНС-П3-9176	$\pm 0,2$; 0,315; 0,5; 0,8 $\pm 1,25$; 2; 3,15 ± 5 ; 8; 12,5; 20
Мановакуумметр	МВС-П1-9121 МВС-П2-9124	От — 100 до +60; 150; 300 От — 100 до +300; 500; 900; 1500; 2400
Манометр абсолютного давления	МАС-П1-9131 МАС-П2-9132 МАС-П3-9133	25; 40; 60; 100; 160; 250; 400 600; 1000; 1600; 2500 6; 10; 16; 25; 40
Манометр узкопределный	МС-П12-9192 МС-П13-9193 МС-П15-9195 МС-П17-9197 МС-П18-9198 МС-П19-9199	От 210 до 250; от 190 до 250; от 150 до 250; от 340 до 400; от 300 до 400; от 240 до 400 (От 5 до 6; от 4,4 до 6; от 3,5 до 6; от 8,4 до 10; от 7,5 до 10; от 6 до 10) $\times 100$ (От 13,5 до 16; от 12 до 16; от 10 до 16; от 21 до 25; от 19 до 25; от 15 до 25) $\times 100$ (От 34 до 40; от 30 до 40; от 24 до 40; от 50 до 60; от 44 до 60; от 35 до 60) $\times 100$ (От 84 до 100; от 75 до 100; от 60 до 100; от 135 до 160; от 120 до 160; от 100 до 160) $\times 100$ (От 210 до 250; от 190 до 250; от 150 до 250; от 340 до 400; от 300 до 400; от 240 до 400; от 500 до 600; от 440 до 600; от 350 до 600) $\times 100$

Датчики давления с выходным сигналом 0—20 мА

Напоромер	НС-Э1-9274 НС-Э2-9275 НС-Э3-9276	0,4; 0,63; 1; 1,6 2,5; 4; 6,3 10; 16; 25; 40
Манометр	МС-Э1-9221 МС-Э2-9224	40; 60; 100; 160; 250; 400 600; 1000; 1600; 2500

Наименование	Тип	Верхние пределы измерения, кПа
Тягомер	ТС-Э1-9271 ТС-Э2-9272 ТС-Э3-9273	От — 0,4; 0,63; 1; 1,6 до 0 От — 2,5; 4; 6,3 до 0 От — 10; 16; 25; 40 до 0
Вакуумметр	ВС-Э1-9223	От — 40; 60; 100 до 0
Тягонапоромер	ТНС-Э1-9274 ТНС-Э2-9275 ТНС-Э3-9276	±0,2; 0,315; 0,5; 0,8 ±1,25; 2; 3,15 ±3,15; 5; 8; 12,5; 20
Мановакуумметр	МВС-Э1-9221 МВС-Э2-9224	От — 100 до +60; 150; 300 От — 100 до +300; 500; 900; 1500; 2400
Манометр абсолютного давления	МАС-Э1-9231 МАС-Э2-9232 МАС-Э3-9233	25; 40; 60; 100; 160; 250; 400 600; 1000; 1600; 2500 6; 10; 16; 25; 40
Манометр узкопределный	МС-Э12-9292	(От 2,1 до 2,5; от 1,9 до 2,5; от 1,5 до 2,5; от 3,4 до 4; от 3 до 4; от 2,4 до 4)×100
	МС-Э13-9293	(От 5 до 6; от 4,4 до 6; от 3,5 до 6; от 8,4 до 10; от 7,5 до 10; от 6 до 10)×100
	МС-Э15-9295	(От 13,5 до 16; от 12 до 16; от 10 до 16; от 21 до 25; от 19 до 25; от 15 до 25)×100
	МС-Э17-9297	(От 34 до 40; от 30 до 40; от 24 до 40; от 50 до 60; от 44 до 60; от 35 до 60)×100
	МС-Э18-9298	(От 84 до 100; от 75 до 100; от 60 до 100; от 135 до 160; от 120 до 160; от 100 до 160)×100
	МС-Э19-9299	(От 210 до 250; от 190 до 250; от 150 до 250; от 340 до 400; от 300 до 400; от 240 до 400; от 500 до 600; от 440 до 600; от 350 до 600)×100

Датчики давления с выходным сигналом 0—5 мА

Напоромер	НС-Э1-9574 НС-Э2-9575 НС-Э3-9576	0,4; 0,63; 1; 1,6 2,5; 4; 6,3 10; 16; 25; 40
Манометр	МС-Э1-9521 МС-Э2-9524	40; 60; 100; 160; 250; 400 600; 1000; 1600; 2500

Продолжение табл. 5.8

Наименование	Тип	Верхние пределы измерения, кПа
Тягомер	ТС-Э1-9571 ТС-Э2-9572 ТС-Э3-9573	От — 0,4; 0,63; 1; 1,6; 2,5 до 0 От — 2,5; 4; 6,3; 10 до 0 От — 16; 25; 40 до 0
Вакуумметр	ВС-Э1-9523	От — 40; 60; 100 до 0
Тягонапоромер	ТНС-Э1-9574 ТНС-Э2-9575 ТНС-Э3-9576	\mp 0,2; 0,315; 0,5; 0,8; 1,25 \mp 1,25; 2; 3,15 \mp 5; 8; 12,5 20
Мановакуумметр	МВС-Э1-9521 МВС-Э2-9524	От — 100 до +60; 150; 300 От — 100 до +300; 500; 900; 1500; 2400
Манометр абсолютного давления	МАС-Э1-9531 МАС-Э2-9532 МАС-Э3-9533	25; 40; 60; 100; 160; 250; 400 600; 1000; 1600; 2500 6; 10; 16; 25; 40
Манометр узкопредельный	МС-Э12-9592 МС-Э13-9593 МС-Э15-9595 МС-Э17-9597 МС-Э18-9598 МС-Э19-9599	(От 2,1 до 2,5; от 1,9 до 2,5; от 1,5 до 2,5; от 3,4 до 4; от 3 до 4; от 2,4 до 4) \times 100 (От 5 до 6; от 4,4 до 6; от 3,5 до 6; от 8,4 до 10; от 7,5 до 10; от 6 до 10) \times 100 (От 13,5 до 16; от 12 до 16; от 10 до 16; от 21 до 25; от 19 до 25; от 15 до 25) \times 100 (От 34 до 40; от 30 до 40; от 24 до 40; от 50 до 60; от 44 до 60; от 35 до 60) \times 100 (От 84 до 100; от 75 до 100; от 60 до 100; от 135 до 160; от 120 до 160; от 100 до 160) \times 100 (От 210 до 250; от 190 до 250; от 150 до 250; от 340 до 400; от 300 до 400; от 240 до 400; от 500 до 600; от 440 до 600; от 350 до 600) \times 100

На рис. 5.9 приведена схема самопишущего сифонного дифманометра типа ДСС.

Сифонный блок состоит из основания (перегородки) 7, на котором укреплены два рабочих сифона 5 и 9, жестко связанных между собой штоком 10. На свободном конце штока расположен диск с винтовыми противодействующими пружинами 12. Левые концы этих пружин присоединены к нижнему борту неподвижного конуса 13, укрепленного с помощью шпилек 11 на перегородке 7. Оба сифона и полость основания заполнены водно-глицериновой смесью. Для умень-

шения температурной погрешности сильфон 5 снабжен температурным компенсатором 3 в виде трех дополнительных гофр. Внутренние полости температурного компенсатора и сильфона сообщаются между собой отверстиями в разделительном стакане 4. При изменении температуры окружающей среды, а вместе с тем и объема жидкости она будет перетекать через отверстия в разделительном стакане 4.

Давления P_1 и P_2 подводятся в камеры дифманометра через два запорных вентиля, расположенных на вертикальных трубах. Под воздействием разности давлений сильфон 5 сжимается, жидкость из него частично перетекает через отверстие 1 в сильфон 9, вызывая перемещение дна его стакана. При этом перемещается шток, жестко связанный с сильфонами, и изменяет натяг противодействующих пружин. Шток с помощью рычага 8 при своем перемещении закручивает

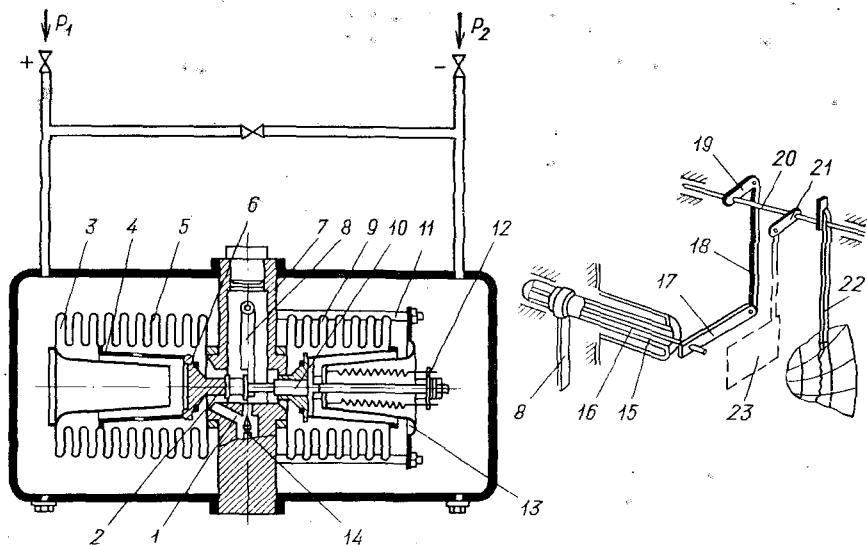


Рис. 5.9. Дифманометр сильфонный типа ДСС

торсионную трубку 15, которая поворачивает на некоторый угол ось 16. Эта ось с помощью рычага 17, шатуна 18 и поводка 19 поворачивает ось 20, на которой насажено перо 22 для записи показаний на дисковой диаграммной бумаге.

Размер отверстия 1 между сильфонами 5 и 9 можно изменять с помощью клапана 14. Этот клапан, выполняющий функции демфера прибора, позволяет изменять степень успокоения дифманометра. Плавающее кольцо 2, расположенное на штоке, перекрывает круглое отверстие в основании блока, и жидкость при закрытом клапане может перетекать через зазор между кольцом и стенками отверстия в очень небольшом количестве.

Каждый из рабочих сильфонов снабжен специальным клапаным устройством, которое состоит из конуса на дне сильфона и уплотняющего резинового кольца 6. Поэтому в тех случаях, когда фактический перепад давления превышает предельный или один из сильфонов находится под действием односторонней

Таблица 5.9. Дифманометры сильфонные

Наименование	Тип	Давление, МПа	Перепад давления, кПа
Дифманометр показывающий	ДСП-780 Н	16	6,3; 10; 16; 25; 40; 63
	ДСП-780 В	32	
Дифманометр показывающий с интегратором	ДСП-781 Н	16	6,3; 10; 16; 25; 40; 63
	ДСП-781 В	32	
Дифманометр показывающий с сигнальным устройством	ДСП-778 Н	16	6,3; 10; 16; 25; 40; 63
	ДСП-778 В	32	
Дифманометр показывающий с датчиком постоянного тока	ДСП-786 Н	16	6,3; 10; 16; 25; 40; 63
	ДСП-786 В	32	
Дифманометр показывающий с пневмодатчиком	ДСП-787 Н	16	6,3; 10; 16; 25; 40; 63
	ДСП-787 В	32	
Дифманометр самопишущий	ДСС-710 Н	16	6,3; 10; 16; 25; 40; 63
	ДСС-710 чН	16	
	ДСС-710 В	32	
	ДСС-710 чВ	32	
Дифманометр самопишущий с записью давления	ДСС-734 Н	16	6,3; 10; 16; 25; 40; 63
	ДСС-734 чН	16	
	ДСС-734 В	32	
	ДСС-734 чВ	32	
Дифманометр самопишущий с интегратором	ДСС-712 Н	16	6,3; 10; 16; 25; 40; 63
	ДСС-712 В	32	
	ДСС-732 Н	16	
	ДСС-732 В	32	

Приборы с пневматическим выходным сигналом

Дифманометр (выход 19,6—98 кПа)	ДС-ПЗ	10; 40	4; 6,3; 10; 16; 25
	ДС-П4	10; 40	40; 63; 100; 160
	ДС-П5	10; 40	250; 400; 630

Приборы с электрическим выходным сигналом

Дифманометр (выход 0—5; 0—20 мА)	ДС-Э3	10; 40	4; 6,3; 10; 16; 25
	ДС-Э4	10; 40	40; 63; 100; 160
	ДС-Э5	10; 40	250; 400; 630
Дифманометр-расходомер (выход 0—5; 0—20 мА)	ДС-ЭР3	10; 40	4; 6,3; 10; 16; 25
	ДС-ЭР4	10; 40	40; 63; 100; 160
	ДС-ЭР5	10; 40	250; 400; 630
Дифманометр-напоромер (выход 0—5 мА)	ДСЭН-100	0,001	—
	ДСЭН-160	0,0016	—
	ДСЭН-250	0,0025	—
	ДСЭН-400	0,004	—
Дифманометр-тягомер (выход 0—5 мА)	ДСЭТ-100	—0,001	—
	ДСЭТ-160	—0,0016	—
	ДСЭТ-250	—0,0025	—
	ДСЭТ-400	—0,004	—
Дифманометр-тягонапоромер (выход 0—5 мА)	ДСЭТН-20	±0,0002	—
Дифманометр-расходомер (выход 0—5 мА)	ДСЭР-100	0,025	1,0
	ДСЭР-160	0,025	1,6
	ДСЭР-250	0,025	2,5
	ДСЭР-400	0,025	4,0

перегрузки, конический клапан сильфона садится на конусное седло основания 7 и перекрывает щель и отверстие для перетекания жидкости из сильфона, предохраняя его от разрушения.

Дифманометры ДСС и ДСП (показывающие) могут быть снабжены интегратором. В этом случае поводок 21, закрепленный на оси 20, соединяют с помощью шатуна с поводком интегратора 23.

Характеристики сильфонных дифманометров приведены в табл. 5.9.

5.4. Комплексы для измерения давления цифровые ИПДЦ

Комплексы для измерения давления цифровые ИПДЦ предназначены для прецизионных измерений и использования в качестве образцового средства для проверки приборов давления и перепада давления.

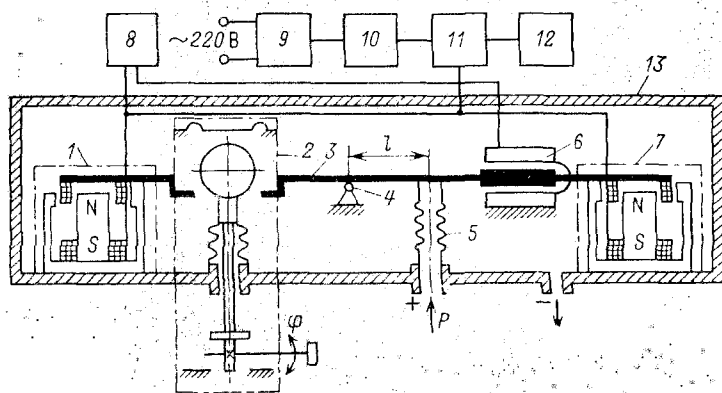


Рис. 5.10. Кинематическая схема ИПД моделей 89005 и 89007

Комплекс состоит из одного или двух измерительных преобразователей давления и цифрового вольтметра ЦЦ413 или ЦЦ1516 (блока индикации).

В качестве измерительных преобразователей применяются преобразователи давления ИПД с выходным сигналом в виде напряжения постоянного тока 0—1, 0—10 В. Принцип действия измерительных преобразователей основан на электрической силовой компенсации. Преобразователь (рис. 5.10) моделей 89005 и 89007 состоит из чувствительного элемента 5, рычага 3, опоры 4, двух механизмов обратной связи 1 и 7, индикатора рассогласования 6 дифференциально-трансформаторного типа, устройства для настройки диапазона измерений 2 и блока усилителя 8.

Чувствительные элементы и элементы силовой компенсации размещены в корпусе 13. Питание комплекса осуществляется от сети 220 В через источник, включающий выпрямитель 9 и стабилизатор 10.

Давление подается в чувствительный элемент 5, который преобразует давление в усилие, передающееся на рычаг 3. Под действием усилия рычаг и плунжер индикатора рассогласования 6 совершают перемещение. Индикатор рассогласования преобразует перемещение в управляющий сигнал, который поступает на вход усилителя 8. С выхода усилителя сигнал поступает в обмотки катушек силовых

механизмов 1 и 7, на блок резисторов 11, с которого снимается выходной сигнал преобразователя и подается на цифровой вольтметр 12.

Выпускают измерительные преобразователи следующих моделей: 89005, 89006; 89007; 89008; 89009; 89010; 89011; 89012.

В табл. 5.10 указаны пределы измерений и пределы допускаемой основной погрешности преобразователей моделей 89005 и 89007.

Таблица 5.10. Технические характеристики ИПДЦ

Модель преобразователя	Верхний предел измерений								Предельно допускаемое рабочее избыточное давление		Предел допускаемой основной погрешности, % нормирующего значения
	избыточного давления				вакуумметрического давления		перепада давления		кПа	кгс/м ²	
	кПа	кгс/м ²	МПа	кгс/м ²	кПа	кгс/м ²	кПа	кгс/м ²			
89005	1	100	—	—	1	100	1	100	1,5	160	±0,1; ±0,15; ±0,25; ±0,10; ±0,15; ±0,25
89005	1,6	160	—	—	1,6	160	1,6	160	2,5	250	
89005	2,5	250	—	—	2,5	250	2,5	250	4,0	400	±0,06; ±0,1; ±0,15 ±0,06; ±0,1; ±0,15 ±0,06; ±0,1; ±0,15 ±0,06; ±0,1; ±0,15
89005	4	400	—	—	4	400	4	400	6	600	
89005	6	600	—	—	6	600	6	600	10	1000	
89005	6,3	630	—	—	6,3	630	6,3	630	10	1000	
89007	100	1000	—	—	—	—	—	—	—	—	±0,06; ±0,1; ±0,15 ±0,15; ±0,25 ±0,1; ±0,15 ±0,06; ±0,1; ±0,15 ±0,06; ±0,1; ±0,15
89007	1	100	—	—	1	100	1	100	1,6	160	
89007	1,6	160	—	—	1,6	160	1,6	160	2,5	250	
89007	2,5	250	—	—	2,5	250	2,5	250	4	400	
89007	4	400	—	—	4	400	4	400	6	600	
89007	6	600	—	—	6	600	6	600	10	1000	±0,15; ±0,25 ±0,1; ±0,15 ±0,06; ±0,1 ±0,06; ±0,1
89007	6,3	630	—	—	6,3	630	6,3	630	10	1000	
89007	10	1000	—	—	10	1000	10	1000	16	1600	
89007	16	1600	—	—	16	1600	16	1600	25	2500	

Комплексы предназначены для работы во взрывобезопасных помещениях, при температуре окружающего воздуха (20±5) °С, относительной влажности не более 80 %.

5.5. Комплекс преобразователей для измерения давления «Сапфир»

Электрические измерительные преобразователи тензорезисторные взрывозащищенные «Сапфир» обеспечивают преобразование давления (абсолютного, избыточного), разрежения, избыточного давления—разрежения, гидростатического дав-

ления или разности давлений нейтральных и агрессивных сред в унифицированный электрический токовый выходной сигнал дистанционной передачи. Они предназначены для работы при температуре от -50 до $+50$ °С. Блок питания преобразователей БПЗ-24 предназначен для работы при температуре $10-50$ °С.

Принцип действия измерительного преобразователя «Сапфир» основан на использовании тензоэффекта в полупроводниковом материале. Тензорезисторы в виде монокристаллической пленки нанесены на упругий элемент, который претерпевает деформацию при действии измеряемого давления. Изменение сопротивления тензорезистора с помощью электронного устройства преобразуется в токовый сигнал ($0-5$, $0-20$ или $4-20$ мА) в зависимости от исполнения преобразователя.

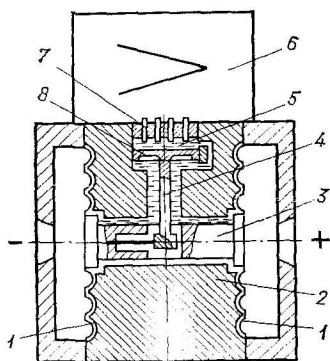


Рис. 5.11. Принципиальная схема измерительного блока с тензомодулем рычажно-мембранного типа

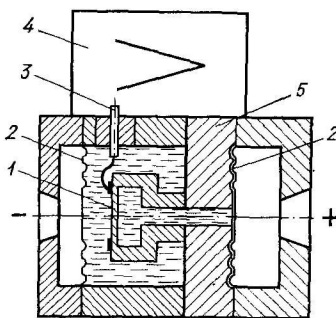


Рис. 5.12. Принципиальная схема измерительного блока с тензомодулем мембранного типа

Измерительный преобразователь «Сапфир» состоит из первичного преобразователя и блока питания типа БПЗ-24, связанных двухпроводной линией связи. Первичный преобразователь состоит из измерительного блока и встроенного электронного устройства. Измерительные блоки выполнены на основе тензомодулей двух типов: рычажно-мембранного и мембранного.

Схема измерительного блока разности давлений с тензомодулем рычажно-мембранного типа представлена на рис. 5.11. Тензомодуль рычажно-мембранного типа 4 размещен внутри основания 2 в заполненной полиметилсилоксановой жидкостью замкнутой полости и отделен от измеряемой среды металлическими гофрированными мембранами 1. Мембраны 1 по наружному контуру приварены к основанию и соединены между собой центральным штоком 3, который связан с концом рычага тензомодуля. Воздействие разности давления вызывает прогиб мембран 1, прогиб мембраны 8 тензомодуля, изменение сопротивления тензорезисторов 5. Электрический сигнал с тензомодуля передается из полости высокого давления во встроенное электронное устройство 6 по проводам через гермовывод 7. Измерительный блок выдерживает без разрушения воздействие односторонней перегрузки рабочим давлением. Это обеспечивается тем, что при односто-

ронней перегрузке мембрана 1 после дополнительного перемещения ложится на профилированную подушку.

В преобразователях разрежения, избыточного давления—разрежения и избыточного давления используются одни и те же измерительные блоки. Они отличаются от измерительных блоков преобразователей разности давлений конструкцией фланцев и тем, что у них измеряемое давление подводится лишь к «плюсовой» камере, а «минусовая» камера сообщается с окружающей атмосферой. Отличие измерительных блоков абсолютного давления состоит в том, что у них минусовая камера вакуумирована и герметизирована.

Схема измерительного блока преобразователя разности давлений мембранного типа представлена на рис. 5.12. Мембранный тензомодуль 1 закреплен на основании 5 и отделен от измеряемой среды с помощью двух разделительных металлических мембран 2. Замкнутые полости между тензомодулем и мембранами заполнены полиметилсилоксановой жидкостью. Измеряемая разность давлений воздействует на тензомодуль со стороны плюсовой камеры через указанные мембраны и жидкость. Электрический сигнал с тензомодуля передается из полости рабочего давления во встроенное электронное устройство 4 по проводам через гермовывод 3.

Измерительный блок преобразователя разности давлений выдерживает без разрушения воздействие односторонней перегрузки давлением (элементы защиты от разрушения на схеме не показаны). У измерительных блоков преобразователей избыточного давления, избыточного давления—разрежения в отличие от измерительных блоков разности давлений «минусовая» полость сообщена с атмосферой, фланец со стороны «минусовой» полости заменен более легкой крышкой. Измерительный блок преобразователей абсолютного давления отличается тем, что у него «минусовая» полость вакуумирована и герметизирована.

Встроенное электронное устройство первичного преобразователя обеспечивает преобразование изменения сопротивления тензорезисторов в токовый выходной сигнал. Блок БПЗ-24 выполнен в виде отдельного устройства, смонтированного во взрывобезопасном помещении.

Т а б л и ц а 5.11. Преобразователи комплекса «Сапфир»

Наименование ИП «Сапфир»	Тип	Измеряемый параметр
Преобразователи избыточного давления	651 ДИ; 652 ДИ	Избыточное давление
Преобразователи абсолютного давления	651 ДА; 652 ДА	Абсолютное давление
Преобразователи разрежения	651 ДВ	Разрежение (вакуумметрическое давление)
Преобразователи избыточного давления — разрежения	651 ДИВ; 652 ДИВ	Избыточное давление — разрежение (вакуум)
Преобразователи разности давлений	651 ДД; 652 ДД	Перепад давления
Преобразователи гидростатического давления	651 ДГ	Гидростатическое давление

Таблица 5.13. Предельные значения разности давлений

Наименование преобразователей	Шифр первичных преобразователей	Верхний предел измерения разности давлений		Предельно допустимое избыточное рабочее давление, МПа (кгс/см ²)
		кПа (кгс/м ²)	МПа (кгс/см ²)	
Преобразователи разности давлений «Сапфир»	651 ДД	100 (1,0);	—	10 (1,0)
		160 (1,6);	—	10 (1,0)
		250 (2,5);	—	10 (1,0)
		400 (4,0)	—	10 (1,0)
		630 (6,3);	0,4 (0,04);	160 (16)
		1000 (10);	0,63 (0,063);	160 (16)
		1600 (16);	1,0 (0,01);	160 (16)
		2500 (25)	1,6 (0,16);	160 (16)
	652 ДД	—	2,5 (0,25)	160 (16)
		—	4,0 (0,4);	160 (16)
		—	6,3 (0,63);	160 (16)
		—	10 (1,0);	160 (16)
		—	16 (1,6);	160 (16)
		—	25 (2,5)	160 (16)

Таблица 5.14. Предельные значения гидростатического давления

Наименование преобразователей	Шифр первичных преобразователей	Верхний предел измерения разности давлений		Предельно допустимое избыточное рабочее давление, МПа (кгс/см ²)
		кПа (кгс/м ²)	МПа (кгс/см ²)	
Преобразователи гидростатического давления «Сапфир»	651 ДГ	630 (6,3);	0,4 (0,04);	40 (0,4)
		1000 (10);	0,63 (0,063);	40 (0,4)
		1600 (16);	1,0 (0,1);	40 (0,4)
		2500 (25)	1,6 (0,16)	40 (0,4)
		—	—	—

Таблица 5.15. Предельные значения разрежения—давления

Наименование преобразователей	Шифр первичных преобразователей	Верхний предел измерения			
		разрежения (вакуума)		избыточного давления	
		кПа (кгс/м ²)	МПа (кгс/см ²)	кПа (кгс/м ²)	МПа (кгс/см ²)
Преобразователи избыточного давления—разрежения «Сапфир»	651 ДИВ	80 (0,8);	1,0 (0,1)	80 (0,8);	0,6 (0,06);
		125 (1,25);	1,0 (0,1)	125 (1,25);	1,5 (0,15)
		200 (2,0);	1,0 (0,1)	200 (2,0);	—
		315 (3,15);	1,0 (0,1)	315 (3,15);	—
		500 (5,0);	1,0 (0,1)	500 (5,0);	—
		800 (8,0);	1,0 (0,1)	800 (8,0);	—
		1250 (12,5);	1,0 (0,1)	1250 (12,5);	—
		2000 (20)	1,0 (0,1)	2000 (20)	—
	652 ДИВ	—	1,0 (0,1)	—	3,0 (0,3);
		—	—	—	5,0 (0,5);
		—	—	—	9,0 (0,9);
		—	—	—	15 (1,5);
—	—	—	24 (2,4)		

Глава 6 ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА

6.1. Общие понятия

Расход — это количество вещества, протекающее через данное сечение в единицу времени. Количество можно измерять в единицах массы (кг, т) или единицах объема (м^3). Следовательно, расход можно измерять в единицах массы, деленных на единицу времени (кг/с, кг/мин, кг/ч, т/ч), или в единицах объема, также деленных на единицу времени ($\text{м}^3/\text{с}$, $\text{м}^3/\text{мин}$, $\text{м}^3/\text{ч}$). В первом случае имеем массовый расход, во втором — объемный расход.

Приборы для измерения расхода называют расходомерами, а приборы для измерения количества — счетчиками количества (кратко — счетчиками). Приборы для одновременного измерения расхода и количества называют расходомерами со счетчиком.

Для измерения расхода и количества применяют следующие виды приборов: 1) переменного перепада давления (с сужающими устройствами с гидравлическими сопротивлениями; с напорными устройствами; с напорными усилителями; струйные); 2) переменного уровня (с затопленным отверстием истечения; с отверстием истечения типа водослива—щелевые); 3) обтекания (постоянного перепада давления; ротаметры, поплавковые, поршневые; поплавково-пружинные; с поворотной лопастью); 4) тахометрические (турбинные — с аксиальной турбинкой, с тангенциальной турбинкой; шариковые; камерные — поршневые, дисковые, с кольцевым поршневым, с овальными колесами; роторные, лопастные, ковшовые); 5) силовые (с внешним воздействием — кориолисовые, гидроскопические, турбосиловые, с внутренним воздействием — кориолисовые, турбосиловые); 6) силовые перепадные; 7) тепловые (с электрическим нагревом—калориметрические, с внешним нагревом, термоанемометрические; с индукционным нагревом; с нагревом жидкостным теплоносителем); 8) вихревые; 9) электромагнитные; 10) акустические (ультразвуковые — с перемещением колебаний движущейся средой, доплеровские); 11) оптические (основанные на эффекте Физо—Френеля; основанные на эффекте Доплера); 12) ядерно-магнитные; 13) ионизационные (основанные на зависимости от расхода эффекта ионизации потока вещества); 14) концентрационные (основанные на зависимости от расхода кратности разбавления вещества, вводимого в поток); 15) меточные (основанные на зависимости от расхода времени перемещения на заданном участке пути «метки», создаваемой в потоке); 16) парциальные (основанные на измерении расхода определенной доли вещества, ответвляемой от основного потока).

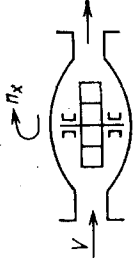
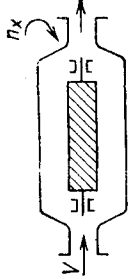
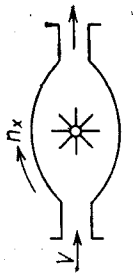
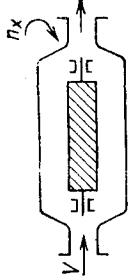
В табл. 6.1 приведены характеристики наиболее распространенных методов измерения расхода.

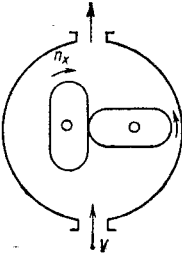
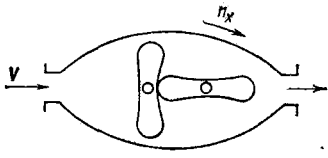
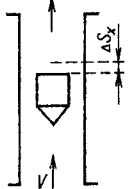
6.2. Расходомеры переменного перепада давления

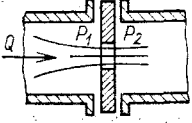
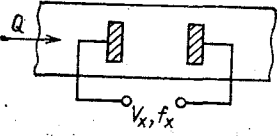
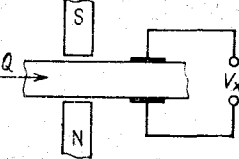
Расходомерами переменного перепада давления называют расходомеры, основанные на зависимости от расхода вещества перепада давления, создаваемого неподвижным устройством, устанавливаемым в трубопроводе, или самим элементом трубопровода.

Расходомеры данного вида включают в себя три отдельные части: преобразователь расхода, создающий перепад давления в зависимости от расхода; соеди-

Таблица 6.1. Характеристики основных методов измерения количества и расхода

Преобразователи	Механические		Объемные
	Скоростные		
	Крыльчатые	Турбинные	
Принципиальная схема преобразователей			Лопастные
			
Величина, характеризующая расход	Скорость вращения крыльчатки	Скорость вращения турбины	Число оборотов крыльчатки
Погрешность измерения, %	$\frac{2,5}{0,5}$	$\frac{2,5}{5,0}$	$\frac{0,25}{0,5}$

Преобразователи	Механические		
	Объемные		Обтекания
	Шестеренчатые	Ротационные	Ротаметрические
Принципиальная схема преобразователей			
Величина, характеризующая расход	Число оборотов шестерен	Число оборотов роторов	Перемещение поплавка в измеряемом потоке
Погрешность измерения, %	$\frac{0,5}{0,25}$	$\frac{1,5}{10,0}$	$\frac{1,5}{2,5}$

Преобразователи	Механические		Электрические	
	Перепада давления		Ультразвуковые	Электромагнитные
	Переменного перепада			
Принципиальная схема преобразователей				
Величина, характеризующая расход	Изменение перепада давления		Изменение скорости ультразвука	Изменение ЭДС в жидкости
Погрешность измерения, %	$\frac{0,5}{2,5}$		$\frac{1,5}{2,0}$	$\frac{1,0}{1,5}$

нительное устройство, передающее перепад давления от преобразователя к измерительному прибору; дифференциальный манометр, измеряющий перепад давления, образованный преобразователем расхода и градуированный обычно в единицах расхода.

Наиболее важными среди расходомеров переменного перепада являются расходомеры с сужающими устройствами. Измерение расхода этими расходомерами осуществляется в соответствии с определенной методикой.

Методика и формулы расчета установлены Правилами РД50-213—80 (взамен Правил 28—64) Государственного комитета стандартов СМ СССР. К сужающим устройствам относятся диафрагмы, сопла и сопла Вентури. Наиболее распространенными сужающими устройствами являются диафрагмы.

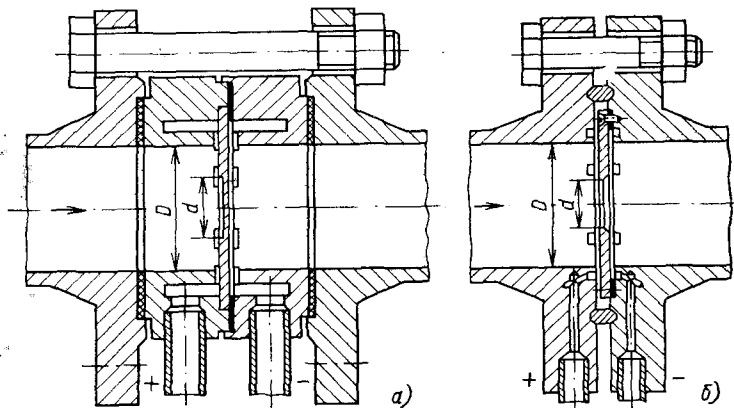


Рис. 6.1. Установка диафрагмы в трубопроводе

По способу отбора давления к дифманометру расходомерные диафрагмы и сопла подразделяют на камерные ДК и бескамерные ДБ (с точечным отбором). На рис. 6.1 показаны камерная (а) и бескамерная (б) диафрагмы.

Между сужающими устройствами и дифференциальными манометрами могут устанавливаться уравнительные конденсационные сосуды, уравнительные сосуды и разделительные сосуды. Уравнительные конденсационные сосуды предназначены для поддержания постоянных и равных уровней конденсата в системе, передающей перепад давления от диафрагм к поплавковым, сифонным и мембранным дифференциальным манометрам-расходомерам при измерении расхода водяного пара.

Для поплавковых дифманометров с ртутным заполнением применяют сосуды типов СКБ-40; СКБ-100; для сифонных и мембранных — типов СКМ-40; СКМ-100.

Уравнительные сосуды предназначены для исключения влияния высоты столба жидкости в импульсном трубопроводе на показания дифманометров-уровнемеров путем поддержания постоянного уровня жидкости в сосуде по отношению к измеряемому переменному уровню в резервуаре и для обеспечения равенства плотностей жидкости в импульсных линиях при измерении перепада давления или расхода жидкости, имеющей температуру свыше 120 °С.

Для поплавковых дифманометров-уровнемеров с ртутным заполнением применяют уравнительные сосуды типов СУБ-63; СУБ-250; для сильфонных и мембранных дифманометров — типов СУМ-63; СУМ-250; СУМ-400.

Разделительные сосуды предназначены для защиты внутренних полостей дифманометров от непосредственного воздействия агрессивных сред путем передачи измеряемого давления через разделительную жидкость. Разделительные сосуды применяют также в тех случаях, когда по условиям пожарной безопасности ввод горючих газов в помещение недопустим, и при измерении расхода вязких жидкостей. Применяют разделительные сосуды типов СРБ (большой), СРС (средний),

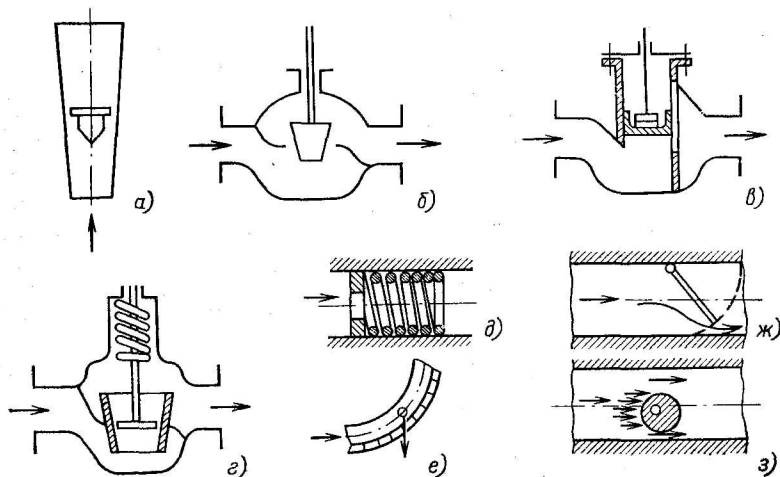


Рис. 6.2. Схемы расходомеров обтекания: а — ротаметр; б — поплавковый расходомер; в — поршневой расходомер; г, д — поплавково-пружинные расходомеры; е — шариковый расходомер; ж, з — расходомеры с поворотной лопастью

СРМ (малый). Сосуды типа СРБ применяют для поплавковых дифманометров с ртутным заполнением; сосуды типа СРС применяют для сильфонных и мембранных дифманометров с перемещением чувствительного элемента; сосуды типа СРМ применяют для сильфонных и мембранных дифманометров с силовой компенсацией.

Дифманометры-расходомеры рассмотрены в гл. 5.

6.3. Расходомеры обтекания

Расходомерами обтекания называют приборы, основанные на зависимости от расхода вещества перемещения тела, воспринимающего динамическое давление обтекающего его потока. Формы обтекаемых тел различны: поплавок, поршень, шар, диск, крыло и т. п. Величина перемещения или угла поворота обтекаемого тела является мерой расхода. Схемы основных типов расходомеров обтекания приведены на рис. 6.2.

Из расходомеров обтекания наибольшее распространение получили ротаметры, принцип действия которых заключается в том, что при движении жидкости или газа снизу вверх через конусную трубку поплавков перемещается до тех пор,

Таблица 6.2. Ротаметры без дистанционной передачи

Тип	Предел измерений, м ³ /ч		Диаметр условного прохода, мм	Давление, МПа
	по воде	по воздуху		
РС-3а	0,0025	0,063	4	0,6 (жид.)
	0,004	0,1	4	
PM-0,016 ЖУЗ	0,0063	0,25	4	0,4 (газ)
	0,016	—	6	
PM-0,025 ЖУЗ	0,025	—	6	0,6
PM-0,04 ЖУЗ	0,04	—	6	0,6
PM-0,4 ГУЗ	—	0,4	6	0,6
PM-0,25 ГУЗ	—	0,25	6	0,6
PM-0,63 ГУЗ	—	0,63	6	0,6
PM-0,063 ЖУЗ	0,063	—	10	0,6
PM-0,1 ЖУЗ	0,1	—	10	0,6
PM-1 ГУЗ	—	1,0	10	0,6
PM-1,6 ГУЗ	—	1,6	10	0,6
PM-0,16 ЖУЗ	0,16	—	15	0,6
PM-0,25 ЖУЗ	0,25	—	15	0,6
PM-0,4 ЖУЗ	0,4	—	15	0,6
PM-2,5 ГУЗ	—	2,5	15	0,6
PM-4 ГУЗ	—	4,0	15	0,6
PM-6,3 ГУЗ	—	6,3	15	0,6
PM-0,63 ЖУЗ	0,63	—	25	0,6
PM-1 ЖУЗ	1,0	—	25	0,6
PM-10 ГУЗ	—	10,0	25	0,6
PM-16 ГУЗ	—	16,0	25	0,6
PM-1,6 ЖУЗ	1,6	—	40	0,6
PM-2,5 ЖУЗ	2,5	—	40	0,6
PM-25 ГУЗ	—	25,0	40	0,6
PM-40 ГУЗ	—	40,0	40	0,6
PCC-0,016 ЖУЗ	0,016	—	6	0,6
PCC-0,04 ЖУЗ	0,04	—	6	0,6
PC-0,4 ГУЗ	—	0,4	6	0,4
PCC-0,63 ГУЗ	—	0,63	6	0,4
PCC-1 ГУЗ	—	1,0	6	0,4
PCC-0,1 ЖУЗ	0,1	—	16	0,6
PCC-0,16 ЖУЗ	0,16	—	16	0,6
PCC-0,25 ЖУЗ	0,25	—	16	0,6
PCC-0,4 ЖУЗ	0,4	—	16	0,6
PCC-4 ГУЗ	—	4,0	16	0,4
PCC-6,3 ГУЗ	—	6,3	16	0,4
PCC-10 ГУЗ	—	10,0	16	0,4
PCC-1 ЖУЗ	1,0	—	40	0,5
PCC-1,6 ЖУЗ	1,6	—	40	0,5
PCC-2,5 ЖУЗ	2,5	—	40	0,5
PCC-3 ЖУЗ	3,0	—	40	0,5
PCC-25 ГУЗ	—	25,0	40	0,3
PCC-40 ГУЗ	—	40,0	40	0,3

Таблица 6.3. Ротаметры с электрической дистанционной передачей

Тип	Предел измерений по воде, м ³ /ч	Диаметр условного прохода, мм	Давление, МПа
РЭ-0,025 ЖУЗ; РЭВ-0,025 ЖУЗ	0,025	6	0,6; 1,6; 6,4
РЭ-0,04 ЖУЗ; РЭВ-0,04 ЖУЗ	0,04	6	0,6; 1,6; 6,4
РЭ-0,063 ЖУЗ; РЭВ-0,063 ЖУЗ	0,063	10	0,6; 1,6; 6,4
РЭ-0,1 ЖУЗ; РЭВ-0,1 ЖУЗ	0,1	10	0,6; 1,6; 6,4
РЭ-0,16 ЖУЗ; РЭВ-0,16 ЖУЗ	0,16	15	0,6; 1,6; 6,4
РЭ-0,25 ЖУЗ; РЭВ-0,25 ЖУЗ	0,25	15	0,6; 1,6; 6,4
РЭ-0,4 ЖУЗ; РЭВ-0,4 ЖУЗ	0,4	15	0,6; 1,6; 6,4
РЭ-0,63 ЖУЗ; РЭВ-0,63 ЖУЗ	0,63	25	0,6; 1,6; 6,4
РЭ-1 ЖУЗ; РЭВ-1 ЖУЗ	1,0	25	0,6; 1,6; 6,4
РЭ-1,6 ЖУЗ; РЭВ-1,6 ЖУЗ	1,6	40	0,6; 1,6; 6,4
РЭ-2,5 ЖУЗ; РЭВ-2,5 ЖУЗ	2,5	40	0,6; 1,6; 6,4
РЭ-4 ЖУЗ; РЭВ-4 ЖУЗ	4,0	40	0,6; 1,6; 6,4
РЭ-6,3 ЖУЗ; РЭВ-6,3 ЖУЗ	6,3	70	0,6; 1,6; 6,4
РЭ-10 ЖУЗ; РЭВ-10 ЖУЗ	10,0	70	0,6; 1,6; 6,4
РЭ-16 ЖУЗ; РЭВ-16 ЖУЗ	16,0	100	0,6; 1,6; 6,4

Примечания: 1. Температура измеряемой среды (—40)—(+70) °С.

2. Ротаметры типа РЭ имеют пылебрызгозащитное исполнение, ротаметры типа РЭВ взрывозащитное исполнение. Корпус выполнен из стали Х18Н9Т.

Таблица 6.4. Ротаметры с пневматической дистанционной передачей

Тип	Предел измерения по воде, м ³ /ч	Диаметр условного прохода, мм	Давление, МПа	Тип	Предел измерения по воде, м ³ /ч	Диаметр условного прохода, мм	Давление, МПа
РП-0,1 ЖУЗ	0,1	10	6,4	РПФ-1,6 ЖУЗ	1,6	40	1,6
РП-0,16 ЖУЗ	0,16	15	6,4	РПФ-2,5 ЖУЗ	2,5	40	1,6
РП-0,25 ЖУЗ	0,25	15	6,4	РПФ-4 ЖУЗ	4,0	40	1,6
РП-0,4 ЖУЗ	0,4	15	6,4	РПФ-6,3 ЖУЗ	6,3	50	1,6
РП-0,63 ЖУЗ	0,63	25	6,4	РПФ-10 ЖУЗ	10,0	70	1,6
РП-1 ЖУЗ	1,0	25	6,4	РПФ-16 ЖУЗ	16,0	70	1,6
РП-1,6 ЖУЗ	1,6	40	6,4	РПО-0,1 ЖУЗ	0,1	10	6,4
РП-2,5 ЖУЗ	2,5	40	6,4	РПО-0,16 ЖУЗ	0,16	15	6,4
РП-4 ЖУЗ	4,0	40	1,6	РПО-0,25 ЖУЗ	0,25	15	6,4
РП-6,3 ЖУЗ	6,3	70	1,6	РПО-0,4 ЖУЗ	0,4	15	6,4
РП-10 ЖУЗ	10,0	70	1,6	РПО-0,63 ЖУЗ	0,63	25	6,4
РП-16 ЖУЗ	16,0	100	1,6	РПО-1 ЖУЗ	1,0	25	6,4
РПФ-0,1 ЖУЗ	0,1	10	1,6	РПО-1,6 ЖУЗ	1,6	40	6,4
РПФ-0,16 ЖУЗ	0,16	10	1,6	РПО-2,5 ЖУЗ	2,5	40	6,4
РПФ-0,25 ЖУЗ	0,25	10	1,6	РПО-4 ЖУЗ	4,0	40	1,6
РПФ-0,4 ЖУЗ	0,4	20	1,6	РПО-6,3 ЖУЗ	6,3	70	1,6
РПФ-0,63 ЖУЗ	0,63	20	1,6	РПО-10 ЖУЗ	10,0	70	1,6
РПФ-1 ЖУЗ	1,0	20	1,6	РПО-16 ЖУЗ	16,0	100	1,6

Примечания: 1. Ротаметры типа РП имеют корпус из стали Х18Н9Т, ротаметры типа РПФ имеют корпус, армированный фторопластом.

2. Ротаметры типа РПО предназначены для измерения расхода кристаллизующихся жидкостей и расплавов. Ротаметры имеют шаровой обгончик.

пока сила тяжести не уравновешивается разностью давлений до и после поплавка и выталкивающей силой. Ротаметры выпускают для местного измерения расхода без дистанционной передачи показаний, с электрической дифференциально-трансформаторной передачей показаний без местной шкалы, с пневматической дистанционной передачей и местной шкалой показаний.

Технические характеристики ротаметров приведены в табл. 6.2—6.4.

6.4. Электромагнитные расходомеры

Принцип действия электромагнитных расходомеров основан на взаимодействии движущейся жидкости с магнитным полем. Это взаимодействие подчиняется закону электромагнитной индукции, согласно которому в жидкости, пересекающей магнитное поле, индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости движения жидкости.

Принципиальная схема электромагнитного расходомера приведена на рис. 6.3. Участок трубопровода 2, изготовленный из немагнитного материала и покрытый изнутри электрической изоляцией (резина, эмаль, фторопласт и т. п.), расположен между полюсами 1 и 4 магнита или электромагнита. Направление силовых линий магнитного поля перпендикулярно оси трубопровода. При движении жидкости по закону электромагнитной индукции в точках, лежащих на противоположных концах соответствующего диаметра трубы, образуется разность потенциалов. Для съема ЭДС через стенку трубы 2 изолированно от нее вводятся электроды 3 и 5.

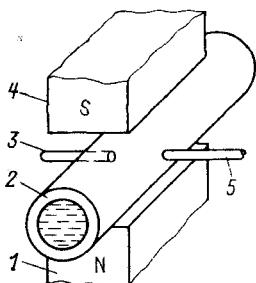


Рис. 6.3. Электромагнитный расходомер

Различают расходомеры с однородным магнитным полем (ИР-51, ИР-51П, 4-РИМ, 5-РИМ) и с неоднородным магнитным полем («Индукция-51», «Индукция-М»). Расходомеры типов ИР-51, ИР-51П, «Индукция-51», «Индукция-М» имеют унифицированный выходной сигнал постоянного тока 0—5 мА, расходомер типа 5-РИМ имеет унифицированный пневматический выходной сигнал 0,02—0,1 МПа. Запись на дисковой диаграмме осуществляется в расходомерах типов 4-РИМ и 5-РИМ.

Технические характеристики электромагнитных расходомеров приведены в табл. 6.5.

Таблица 6.5. Расходомеры электромагнитные

Тип	Пределы измерения, м ³ /ч		Давление, МПа	Температура, °С
	нижний	верхний		
ИР-51	0,32	1000	1,0	От —40 до +150
ИР-51П	0	2,5	2,5	От —40 до +150
«Индукция-51»	32	5000	2,5	От —40 до +150
«Индукция-М»	32	1000	2,5	От —40 до +150
4-РИМ	8	1000	2,5	5—100
5-РИМ	8	1000	2,5	5—100
ИР-56	450	57 600	—	4—30
ЭРИС-1	400	12 500	—	0—80

6.5. Объемные счетчики

Принцип действия объемных счетчиков основан на отсчете количества определенных объемов, вытесняемых из измерительной камеры прибора под действием разности давлений на счетчике. По характеру движения измерительных элементов объемные счетчики подразделяют на поршневые, дисковые, ротационные, с овальными шестернями (см. табл. 6.1).

Технические характеристики объемных счетчиков приведены в табл. 6.6, 6.7.

Таблица 6.6. Объемные счетчики для жидкостей

Тип	Диаметр условного прохода, мм	Расход, м ³ /ч		Давление, МПа
		минимальный	максимальный	
ШЖУ-25-6	25	1,8	16	0,6
ШЖ-40С-6	40	1,7	25	0,6
ШЖО-40-16	40	1,5	6	1,6
ШЖАО-40-16	40	1,5	6	1,6
ШЖАУ-40-16	40	1,8	16	1,6
ШЖО-60-16	60	3	15	1,6
ШЖАО-60-16	60	3	15	1,6
ШЖАУ-60-16	60	1,8	16	1,6
СА-3А	50	2,4	18	0,6
СА-5	80	3	72	1,0
СЖШ-1000М	80	6	60	0,6
ЛЖ-100-8	100	От 7 до 17,5	От 42 до 105	0,8
МП	15	15% макс.	0,05; 0,25; 0,5	1,0
МП	30	15% макс.	0,08; 1,25; 2; 3,2; 4	1,0

Таблица 6.7. Счетчики газа ротационные (давление 0,1 МПа)

Тип	Диаметр условного прохода, мм	Номинальный расход, м ³ /ч	Тип	Диаметр условного прохода, мм	Номинальный расход, м ³ /ч
РГ-40	50	40	РГ-400	150	400
РГ-100	80	100	РГ-600	150	600
РГ-250	125	250	РГ-1000	200	1000

Для измерения расхода нефтепродуктов применяют счетчики типов ШЖУ-25-6, ШЖУ-40С-6, СЖШ-1000М, ЛЖ-100-8, МП.

Для измерения расхода кислот, щелочей и нейтральных жидкостей применяют счетчики типов ШЖАУ, СА.

6.6. Скоростные счетчики

Принцип действия скоростных счетчиков жидкости основан на суммировании числа оборотов помещенного в поток вращающегося устройства за какой-либо отрезок времени, причем скорость вращения этого устройства пропорциональна средней скорости протекающей жидкости, а следовательно, и расходу (см. табл. 6.1). К скоростным счетчикам относятся водомеры типов ВВ, ВТ с

винтовой вертушкой и типов ВКОС, ВКМС, УВК с крыльчаткой. Счетчики с крыльчатками в зависимости от подвода жидкости к крыльчатке подразделяют на счетчики одноструйные (УВК, ВКОС) и многоструйные (ВКМС).

Технические характеристики скоростных счетчиков приведены в табл. 6.8 и 6.9.

Таблица 6.8. Водомеры крыльчатые

Тип	Диаметр условного прохода, мм	Пределы измерения, м ³ /ч			Температура, °С
		номинальный	верхний	нижний	
УВК-20	20	1,6	2,5	0,06	30
УВК-25	25	2,2	3,5	0,08	30
УВК-32	32	3,2	5,0	0,105	30
УВК-40	40	6,3	10,0	0,17	30
ВКОС-1,6	20	1,6	2,5	0,15	30
ВКОС-3,2	32	3,2	5,0	0,35	30
ВКМС-20	20	1,6	2,5	0,15	30
ВКМС-32	32	3,2	5,0	0,35	30
ВКМС-40	40	6,3	10,0	0,5	30
ВКМС-32г	32	3,2	3,5	0,5	90
ВКМС-40г	40	6,3	7,0	1,0	90

Таблица 6.9. Водомеры турбинные

Тип	Диаметр условного прохода, мм	Предел измерения, м ³ /ч			Температура, °С
		номинальный	верхний	нижний	
ВВ-50	50	15	30	1,6	30
ВВ-80	80	42	80	3,0	30
ВВ-200	200	250	500	18,0	30
ВВГ-50	50	15	30	1,6	90
ВВГ-80	80	42	80	3,0	90
ВТ-50	50	15	30	1,6	30
ВТ-80	80	42	84	3,0	30
ВТ-100	100	70	140	4,5	30
ВТ-150	150	150	300	7,0	30
ВТГ-50	50	15	30	1,6	90
ВТГ-80	80	42	84	3,0	90
ВТГ-100	100	70	140	4,5	90
ВТГ-150	150	150	300	7,0	90

6.7. Ультразвуковые расходомеры

Ультразвуковые расходомеры основаны на измерении зависящего от расхода того или иного акустического эффекта, возникающего при переходе ультразвуковых колебаний через поток жидкости или газа.

Ультразвуковые расходомеры находят применение для трубопроводов самых различных диаметров, начиная от 10 мм.

Основными элементами преобразователей ультразвуковых расходомеров являются излучатели и приемники ультразвуковых колебаний. Основные схемы ультразвуковых расходомеров приведены на рис. 6.4.

6.8. Тепловые расходомеры

Тепловые расходомеры основаны на измерении зависящего от расхода эффекта теплового воздействия на поток или на тело, контактирующее с потоком. Тепловые расходомеры измеряют массовый расход. Применяются для измерения расходов в трубах любого диаметра, начиная с 1,5 до 2 мм. Приведенная погрешность неконтактных тепловых расходомеров в среднем лежит в пределах $\pm(1,5-3)\%$. Недостаток расходомеров (кроме термоанемометрических) — большая инерционность.

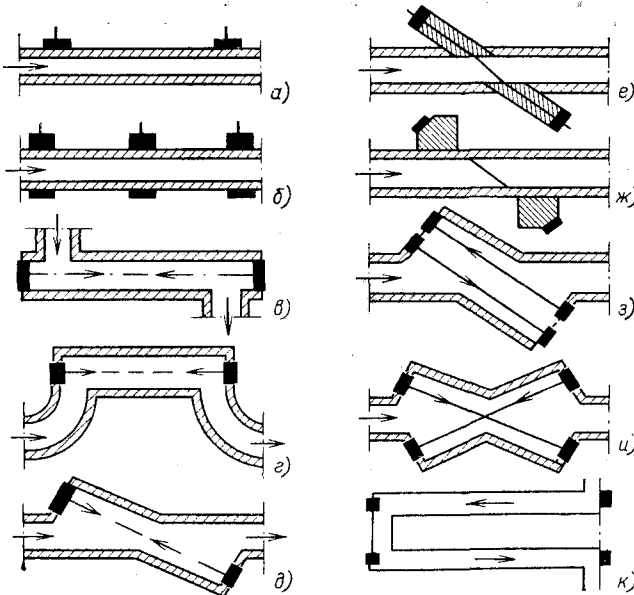


Рис. 6.4. Схема ультразвуковых расходомеров:

а — одноканальные для труб малого диаметра; *б* — двухканальные с излучателем в середине; *в* — одноканальные со сложной конфигурацией трубопровода; *г* — одноканальные со сложной конфигурацией трубопровода; *д* — одноканальные с карманом; *е* — одноканальные с карманом, заполненным звукопроводом; *ж* — одноканальные с наружными пьезоэлементами; *з* — двухканальные с карманом; *и* — двухканальные со сложной конфигурацией трубопровода; *к* — двухканальные.

В промышленности нашли применение следующие типы тепловых расходомеров.

В калориметрических расходомерах внутри трубопровода устанавливаются нагреватель и два термопреобразователя для измерения температуры потока до нагревателя и после. Разность температур потока в местах установки термопреобразователей служит мерой расхода.

Термоанемометрические расходомеры. Термоанемометрами называют приборы, основанные на зависимости между количеством тепла, теряемым непрерывно нагреваемым или предварительно нагретым телом, и скоростью потока газа или жидкости, в котором это тело находится. В более узком смысле термоанемометрами называются лишь приборы непрерывного действия с непрерывно нагреваемым телом.

мым телом. Термоанемометры с предварительным нагревом, являющиеся приборами периодического действия, обычно называют ката-термометрами. В качестве первичных преобразователей термоанемометров применяют проволоочные, пленочные, полупроводниковые.

Мерой расхода служит сопротивление термopеобразователя сопротивления или ЭДС термоэлектрического преобразователя.

Расходомеры теплового пограничного слоя. Расходомеры отличаются от калориметрических тем, что нагреватель и термопреобразователи расположены снаружи труб. Между термопреобразователем, установленным до нагревателя, и самим нагревателем устанавливается нетеплопроводная прокладка для исклю-

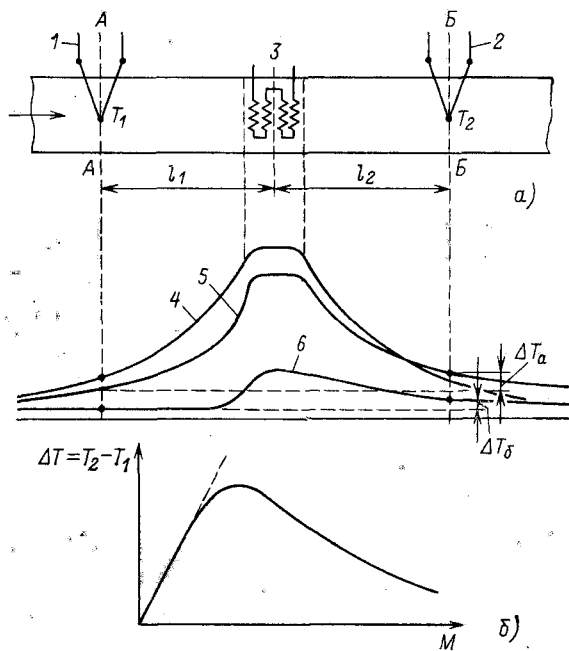


Рис. 6.5. Калориметрический расходомер:

а — принципиальная схема; б — распределение температур

чения влияния нагретой трубы на этот термопреобразователь. Мерой расхода служит разность температур пограничного слоя.

Расходомеры квазикалориметрические отличаются от расходомеров пограничного слоя тем, что в них не принимаются меры для устранения влияния нагревателя на термопреобразователь, установленный до нагревателя. Расходомер применяется для измерения расхода в трубах малого диаметра. В этом случае измеряется не разность температур пограничного слоя, а фактическая разность температур потока.

На рис. 6.5 показана принципиальная схема калориметрического расходомера. Внутри трубопровода установлены нагреватель 3 и два термопреобразователя 1 и 2 для измерения температуры потока до и после нагревателя (T_1 и T_2)

на равных расстояниях от него. Распределение температур по обе стороны от нагревателя показано на рис. 6.5, а: кривая 4 соответствует отсутствию движения жидкости, кривая 5 — малому значению расхода, кривая 6 — большому расходу. Таким образом, разность температур вначале растет, а затем падает при увеличении расхода (рис. 6.5, б).

6.9. Весы и весовые дозаторы

Весовые устройства — во многих случаях составная часть производственного оборудования, встраиваются они в технологические линии, снабжаются различными приспособлениями и наряду с определением массы выполняют другие функции. Весоизмерительные устройства подразделяют на следующие группы: механические и электромеханические весы, весы дискретного и непрерывного действия с ручным и автоматическим управлением, а также с дистанционной передачей и регистрацией показаний.

Механические весы. К механическим относят весы, у которых сила тяжести, создаваемая массой груза, помещенного на грузоприемное устройство, уравновешивается с помощью механических устройств (гирь, квадрантов, пружин и т. п.).

Автоматические весы и весовые дозаторы дискретного действия предназначены для механизации и автоматизации производственных процессов, связанных с подготовкой различных смесей сыпучих материалов и периодическим (циклическим) или непрерывным взвешиванием компонентов.

Весоизмерители с циферблатным указателем позволяют встраивать различные измерительные преобразователи, преобразующие угол поворота в электрический выходной сигнал.

Тензометрические весоизмерители, представляющие собой упругие элементы с бесконтактным механическим преобразователем, позволяют преобразовать механическую нагрузку в изменение электрического сопротивления преобразователя.

Автоматические весы и весовые дозаторы непрерывного действия представляют собой устройства, позволяющие производить непрерывное взвешивание сыпучих материалов в непрерывном движении. Включают в себя конвейерные весы и весовые дозаторы непрерывного действия. Принцип действия конвейерных весов заключается в суммировании массы продукта на движущейся ленте конвейера. Весы позволяют измерять мгновенный расход сыпучих материалов и их количество нарастающим итогом. Автоматические весовые дозаторы предназначены для регулирования потока сыпучих материалов, перемещаемых ленточным или винтовым конвейером.

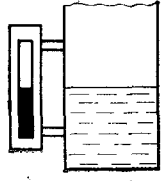
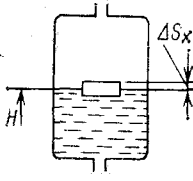
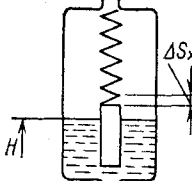
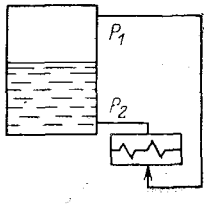
Глава 7

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ

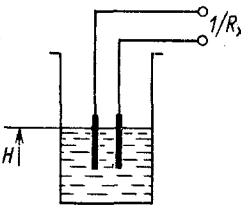
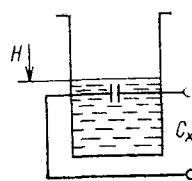
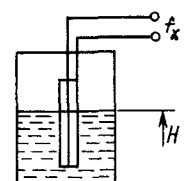
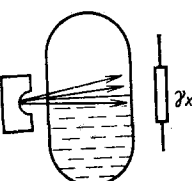
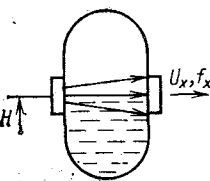
7.1. Общие понятия

Средства измерений, сигнализации и регулирования уровня находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Характерная особенность их использования — широкое разнообразие физических характеристик

Таблица 7.1. Характеристики механических и электрических преобразователей уровня

Преобразователи	Механические			
	С указательными стеклами	Поплавковые	Буйковые	Гидростатические
Принципиальная схема преобразователя				
Величина, характеризующая уровень	Перемещение жидкости	Перемещение поплавка	Усилие упругого элемента	Давление столба жидкости
Погрешность измерения, %, нижняя верхняя	2,0	2,5	$\frac{1,0}{2,5}$	$\frac{2,0}{2,5}$

Продолжение табл. 7.1

Преобразователи	Электрические				
	Кондуктометрические	Емкостные	Высокочастотные резонансные	Ультразвуковые	Радионуклидные
Принципиальная схема преобразователя					
Величина, характеризующая	Проводимость электрической схемы	Электрическая емкость	Изменение резонансной частоты	Изменение интенсивности ультразвука	Изменение интенсивности излучения
Погрешность измерения, %, верхняя нижняя	2,5	$\frac{1,6}{2,5}$	$\frac{1,0}{1,5}$	$\frac{0,1}{1,0}$	$\frac{0,2}{2,0}$

контролируемых сред и рабочих условий, конструктивных, метрологических и других технико-эксплуатационных требований.

Контролируемые среды могут быть жидкими и сыпучими с различными степенями электропроводности, плотности, вязкости, дисперсности, агрессивности, склонности к кристаллизации, осадкообразованию, а также с различными степенями стабильности физических свойств при изменении внешних условий и т. п.

Приборы контроля должны быть сопрягаемы с внешними устройствами и удовлетворять требованиям по виду и параметрам выходного сигнала, точности измерения, надежности.

В табл. 7.1 приведены характеристики механических и электрических преобразователей уровня. Механические преобразователи применяют в комплекте с электрическими измерительными преобразователями перемещения. Уровнемеры с указательными стеклами основаны на принципе сообщающихся сосудов и предназначены для визуального контроля уровня. В поплавковых уровнемерах используется выталкивающая сила жидкости, действующая на поплавок, средняя плотность которого меньше плотности жидкости.

В буйковых уровнемерах используется изменение силы тяжести поплавка (буйка), средняя плотность которого больше плотности жидкости, с изменением величины погружения буйка в жидкость.

Измерение уровня гидростатическими уровнемерами сводится к измерению давления столба жидкости манометром или дифманометром. Принцип действия электрических уровнемеров заключается в измерении изменения электропроводности, емкости, резонансной частоты и других электрических параметров, зависящих от изменения уровня.

7.2. Поплавковые и буйковые уровнемеры

Принцип действия поплавкового уровнемера основан на следящем действии поплавка, плавающего на поверхности жидкости и перемещающегося вместе с ее уровнем.

На рис. 7.1 приведена принципиальная схема поплавкового уровнемера типа УДУ-10. Уровнемер предназначен для измерения уровня нефтепродуктов и других однородных жидкостей. Поплавок 2, подвешенный на перфорированной мерной ленте 4, при изменении уровня жидкости скользит вдоль направляющих струн 3. Мерная лента, проходя через систему угловых роликов и гидрозатвор, вступает в зацепление со штырями мерного шкива 1 показывающего прибора. Перемещение мерного шкива передается на отсчетное устройство 8, показания которого соответствуют уровню жидкости в резервуаре.

Натяжение мерной ленты обеспечивается пружинным двигателем постоянного момента. Принцип его действия следующий: стальная лента, навитая специальным способом, одним концом прикреплена к ведущему барабану 7, сидящему на оси и жестко скрепленному с барабаном-накопителем 5, другим — свободно охватывает барабан 6, создавая движущий момент постоянной величины. Когда поплавок 2 находится в верхнем положении, мерная лента смотана на барабан-накопитель 5, а лента пружинного двигателя — на барабан 6. При понижении уровня жидкости масса поплавка преодолевает момент трения в подвижной системе прибора и момент, создаваемый пружинным двигателем. Поплавок начинает перемещаться вниз, мерная лента, вращая барабан-накопитель 5, одновременно перематывает ленту пружинного двигателя с барабана 6 на барабан 7,

накапливая тем самым энергию. При повышении уровня сила тяжести поплавка компенсируется выталкивающей силой жидкости, натяжение мерной ленты уменьшается, пружинный двигатель сматывает мерную ленту на барабан-накопитель 5.

Уровнемер имеет 15 типоразмеров. Диапазон измерения 0—12, 0—20 м. Цена деления 1; 5 мм, погрешность измерения ± 10 мм, ± 4 мм. Температура контролируемой среды от -50 до $+100$ °С. Масса — 40 кг.

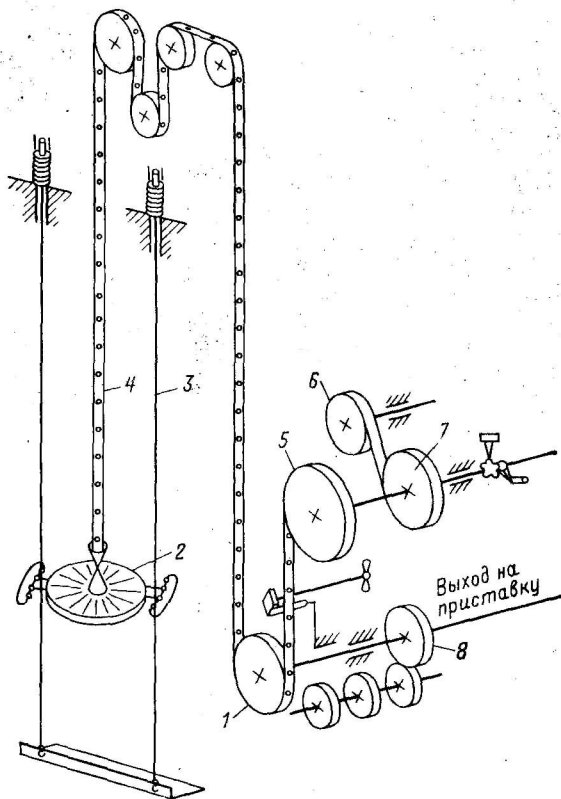


Рис. 7.1. Принципиальная схема поплавкового уровнемера типа УДУ-10

Принцип действия буйкового уровнемера основан на силовой компенсации. Изменение уровня жидкости преобразуется в чувствительном элементе измерительного блока — буйке в пропорциональное усилие, которое автоматически уравновешивается усилием, развиваемым силовым устройством обратной связи.

Выпускают буйковые уровнемеры с электрическим и пневматическим выходными сигналами. Уровнемеры построены по блочному принципу.

Принципиальная схема буйкового уровнемера типа УБ-Э с электрическим выходным сигналом приведена на рис. 7.2. Измерительный блок (преобразователь) представляет собой рычажную систему с чувствительным элементом в виде буйка 1, подвешенного к рычагу вывода 3 при помощи призмы.

рычага из полости рабочего давления уплотнен с помощью мембраны 2, начальная масса буйка уравнивается специальным грузом 16, навинченным на плечо дополнительного рычага 15. Фланец на основании служит для крепления уровнемера к объекту. Усилие, с которым измерительный блок воздействует на электросиловой преобразователь, создает момент, вызывающий незначительное перемещение рычажной системы передаточного механизма, состоящей из рычагов 4, 6, 11, пружины 5, подвижной опоры 7, и связанного с ней плунжера 9 относительно катушки 10 индикатора рассогласования, заключенного в экран 8.

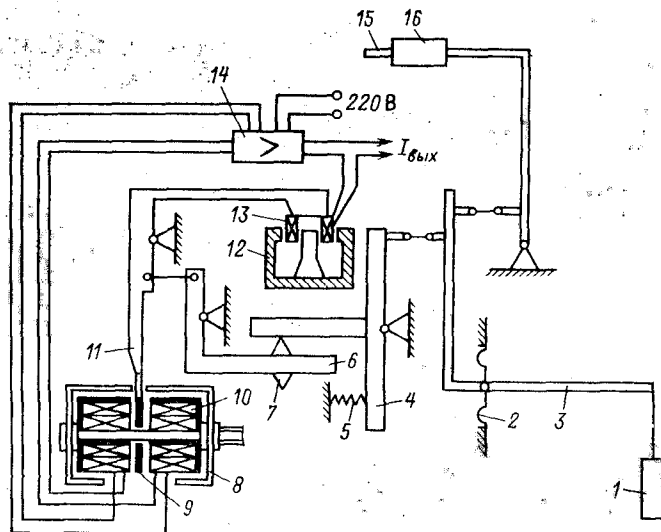


Рис. 7.2. Принципиальная схема буйкового уровнемера типа УБ-Э

Полупроводниковый усилитель 14 типа УП-20 преобразует сигнал индикатора рассогласования в сигнал постоянного электрического тока, поступающий через катушку 13 силового механизма обратной связи на выход. В результате взаимодействия магнитных полей катушки 13 и магнита 12 прекращается перемещение рычажной системы.

Основные технические характеристики электрических буйковых уровнемеров приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2. Уровнемеры буйковые электрические

Тип	Плотность, кг/м ³	Температура, °С	Давление, МПа	Предел измерения, м
УБ-Э	600—2500	От —40 до +100	10; 16	0,02; 0,04; 0,06
УБ-ЭА	600—2500	100—400	6,4	0,08; 0,10; 0,25
УБ-ЭБ	600—2500	От —200 до —40	6,4	0,4; 0,6; 0,8
УБ-ЭВ	600—2500	От —40 до +200	4	1; 1,6; 2,0; 2,5
УБ-ЭГ	600—2500	От —40 до +200	6,4	3; 4; 6; 10; 16

Примечание. Уровнемеры типов УБ-ЭА, УБ-ЭБ, УБ-ЭВ, УБ-ЭГ с верхними пределами 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1 м не выпускаются.

Класс точности	1; 1,5
Выходной сигнал, мА	0—5; 0,20; 4—20
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	15

Уровнемер буйковый электрический искробезопасный типа УБ-ЭИ имеет следующие технические данные:

Класс точности	1; 1,5
Верхние пределы измерений уровня, м	0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 6,0
Плотность измеряемой среды, кг/м ³	600—2500
Температура измеряемой среды, °С	От —40 до —100; От —40 до +200

Выходной сигнал, мА	0—5; 0—20
Напряжение питания, В	220
Масса, кг	17—42

Принципиальная схема пневматического буйкового уровнемера типа УБ-П приведена на рис. 7.3. Боек 1 подвешивается на конце рычага 3 с помощью

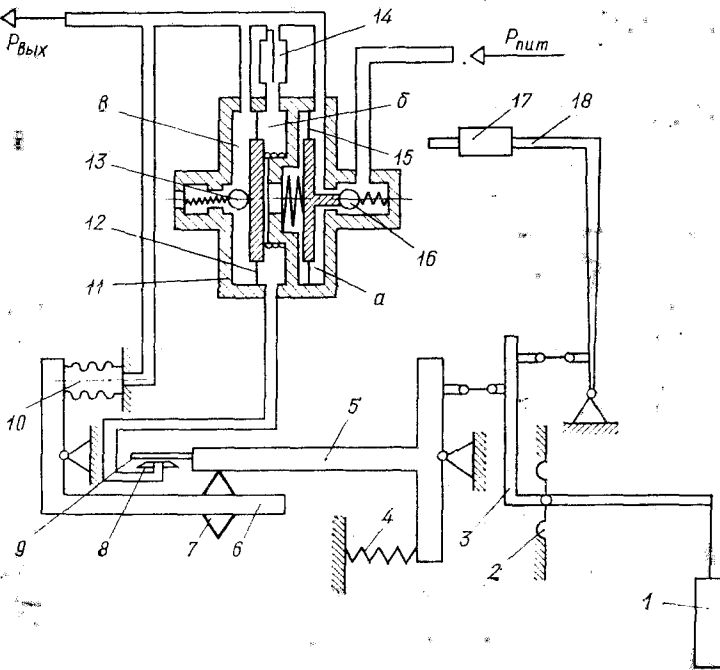


Рис. 7.3. Принципиальная схема уровнемера типа УБ-П:

1 — элемент чувствительный (боек); 2 — мембрана уплотнительная; 3, 5, 6, 18 — рычаги; 4 — пружина; 7 — опора подвижная; 8 — сопло; 9 — заслонка; 10 — сиффон; 11 — пневмоусилитель; 12, 15 — мембраны; 13, 16 — клапаны; 14 — дроссель; 17 — груз

призмы. Вывод рычага 3 из полости рабочего давления уплотнен мембраной 2. Начальный вес буйка уравнивается специальным грузом 17, навешенным на плечо дополнительного рычага 18. Индикатор рассогласования выполнен по системе сопло — заслонка. Заслонка 9 закреплена на рычаге 5 и перемещается относительно неподвижного сопла 8 рычажной системой, состоящей из рыча-

гов 5, 6, подвижной опоры 7, пружины 4. Воздух питания через клапан 16 поступает в камеры *a* и *в* пневмоусилителя 11. Из этих камер через дроссель 14 воздух поступает в камеру *б* и в линию сопла. Камеры *a*, *в* разделены с камерой *б* мембранами 12, 15 из прорезиненного полотна. При повышении или понижении давления в линии сопла и в камере *б*, вызванных перемещением заслонки, открывается соответственно клапан 13 или 16 и повышается или понижается давление воздуха в камерах *a* и *в*. Это давление, под которым воздух поступает в сильфон обратной связи 10, и является выходным сигналом уровнемера.

Основные технические характеристики пневматических буйковых уровнемеров приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3. Уровнемеры буйковые пневматические

Тип	Плотность, кг/м ³	Температура, °С	Давление, МПа	Масса, кг
УБ-П	400—2500	От -40 до +100	10; 16	16
УБ-ПА	450—2500	От 100 до 400	6,4	40
УБ-ПБ	450—2500	От -200 до -40	6,4	38
УБ-ПВ	450—2500	От -40 до +200	4	33
УБ-ПГ	450—2500	От -40 до +200	6,4	33
УБ-ПМ (меж-фазовый)	200—400	От -40 до +100	10	16
УБ-ПВМ	200—400	От -40 до +200	4	33

Верхние пределы измерений уровня, м:

Для УБ-П	0,02; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1
Для УБ-ПА, УБ-ПБ, УБ-ПВ, УБ-ПГ	0,25; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; 16,0
Для УБ-ПМ, УБ-ПВМ	0,6; 0,8; 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0
Класс точности	1; 1,5

7.3. Емкостные уровнемеры

Принцип действия емкостных уровнемеров основан на изменении электрической емкости преобразователя пропорционально изменению контролируемого уровня жидкости. Для каждого значения уровня жидкости в резервуаре емкость преобразователя определяется как емкость двух параллельно соединенных конденсаторов, один из которых определяется частью электродов и жидкостью между электродами, другой — остальной частью электродов, находящейся в воздухе.

В промышленности широкое применение получили емкостные уровнемеры типа РУС, работа которых основана на емкостно-импульсном методе измерения уровня, использующем переходные процессы, протекающие в цепи емкостного преобразователя, периодически подключаемого к источнику постоянного напряжения.

Уровнемер (рис. 7.4) состоит из двух емкостных датчиков: измерительного 3 и компенсационного 2, который размещается ниже измерительного и должен быть погружен в жидкость. В частном случае, например при постоянстве диэлектрической проницаемости среды, а также при измерении уровня электропроводных жидкостей, применение компенсационного датчика нецелесообразно, и он может быть заменен конденсатором постоянной емкости.

Измерительный и компенсационный датчики включены на входы преобразователей емкости в электрический сигнал 4 и 1, режим работы которых задается генератором импульсов 5, представляющим собой симметричный мультивибратор. Разность выходных сигналов преобразователей 4 и 1 подается на вход импульсного детектора 6, выходной сигнал которого в виде напряжения постоянного тока поступает на вход усилителя постоянного тока 7 и после усиления подается как сигнал отрицательной обратной связи на преобразователь 1 и на вход формирователя 8, преобразующего постоянное напряжение в унифицированный сигнал постоянного тока 0—5, 0—20 или 4—20 мА.

Изменение уровня жидкости в объекте контроля вызывает изменение емкости измерительного датчика, величина которой определенным образом зависит от положения уровня и параметров контролируемой среды. Преобразователь 4 представляет собой нуль-орган, в котором датчик и эталонный конденсатор при помощи специальных коммутирующих элементов поочередно подключаются к источнику постоянного стабилизированного напряжения U_0 и формируют выходной сигнал в виде импульсов напряжения. Преобразователь 1 имеет такое же исполнение, но в качестве источника питания используется выходное напряжение $U_{o.c}$ усилителя 7.

Сигналы с преобразователей 4 и 1 вычитаются, и разностный сигнал подается на вход импульсного детектора 6, преобразующего импульсный сигнал в напряжение постоянного тока, которое после предварительного усиления усилителем постоянного тока 7 подается в качестве сигнала отрицательной обратной связи $U_{o.c}$ на преобразователь 1 и на вход формирователя унифицированного выходного сигнала 8.

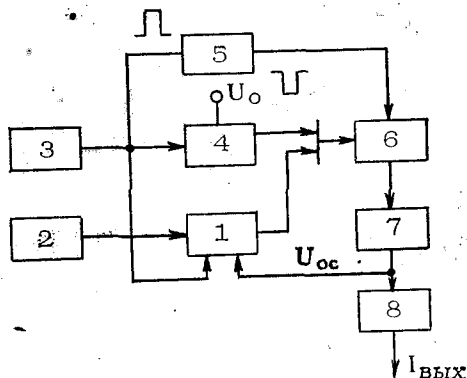


Рис. 7.4. Структурная схема емкостного уровнемера типа РУС

Звенья измерительной системы уровнемера типа РУС выполнены на базе стандартных микросхем, что позволяет существенно снизить габаритные размеры прибора и повысить его надежность.

Для работы с электропроводными средствами чувствительные элементы выполнены в виде проводов с фторопластовой изоляцией (конструктивные исполнения ПОФ, ПТФ, ПСФ).

Для контроля уровня диэлектрических жидкостей используются емкостные чувствительные элементы с неизолированными электродами, которые выполняются в виде коаксиальных труб (КНД, КНТ), гибких тросиков (ТНД, ТНТ) или стальных лент (ЛНД).

Первичные преобразователи различных конструктивных исполнений имеют следующие пределы измерений: КНТ и КНД — 0,4—4 м; ЛНД — 4—10 м; ТНД — 4—20 м; ТНТ — 2,5—20 м; ПОФ — 0,4—20 м; ПТФ — 1—20 м; ПСФ — 0,4—2,5 м. Модификации первичных преобразователей приведены в табл. 7.4.

Таблица 7.4. Первичные преобразователи

Модификация			Температура окружающей среды, °С	Температура контролируемой среды, °С
для диэлектрических жидкостей	для электропроводных жидкостей			
ПП-0-111-КНД; ТНТ; ЛНД	КНТ; ТНД;	ПП-0-111-ПОФ; ПТФ; ПСФ	±50	±60
ПП-0-122-КНД; ТНТ; ЛНД	КНТ; ТНД;	ПП-0-122-ПОФ; ПТФ; ПСФ	5—50	5—100
ПП-0-131-КНД; ТНТ; ЛНД	КНТ; ТНД;	ПП-0-131-ПОФ; ПТФ; ПСФ	От —30 до +50	±60
ПП-0-211-КНД; ТНТ; ЛНД	КНТ; ТНД;	ПП-0-211-ПОФ; ПТФ; ПСФ	±50	±60
ПП-0-222-КНД; ТНТ; ЛНД	КНТ; ТНД;	ПП-0-222-ПОФ; ПТФ; ПСФ	5—50	5—100
ПП-0-231-КНД; ТНТ; ЛНД	КНТ; ТНД;	ПП-0-231-ПОФ; ПТФ; ПСФ	От —30 до +50	±60

Избыточное давление, МПа:

- до 2,5 (ПП-0-111; ПП-0-122; ПП-0-131);
- от 2,5 до 10 (ПП-0-211; ПП-0-222; ПП-0-231);
- от 0 до 10 (ПП-0-323).

Уровнемеры типа РУС характеризуются следующими данными:

Диапазоны измерений, м	0—0,4; 0—0,6; 0—1,6; 0—2,5; 0—4; 0—6; 0—10; 0—16; 0—20
Класс точности	0,5; 1; 1,5; 2,5
Напряжение питания, В	220
Выходной сигнал, мА	0—5; 0—20
Потребляемая мощность, В·А	15
Вязкость среды, Па·с, не более	0,1
Относительная диэлектрическая проницаемость	Не менее 1,4
Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч	0,96
Масса, кг	4—16

7.4. Высокочастотные уровнемеры

Принцип действия высокочастотных уровнемеров основан на зависимости собственной частоты отрезка длинной линии как колебательного контура от степени погружения его в жидкость. В промышленности применяется комплекс унифицированных высокочастотных уровнемеров, включающий следующие типы уровнемеров.

Резонансный уровнемер модульно-блочный типа РУМБ-1 предназначен для непрерывного дистанционного измерения уровня растворов кислот, щелочей, солей и других электропроводных агрессивных и неагрессивных сред.

Принцип действия уровнемера основан на изменении частоты высокочастотного генератора в соответствии с выходной характеристикой первичного преобразователя с чувствительным элементом в виде отрезка длинной линии, включенного в качестве частотозадающего колебательного контура в схему генератора. Выходной характеристикой первичного преобразователя является зависимость его резонансной частоты от степени погружения чувствительного элемента в контролируемую среду.

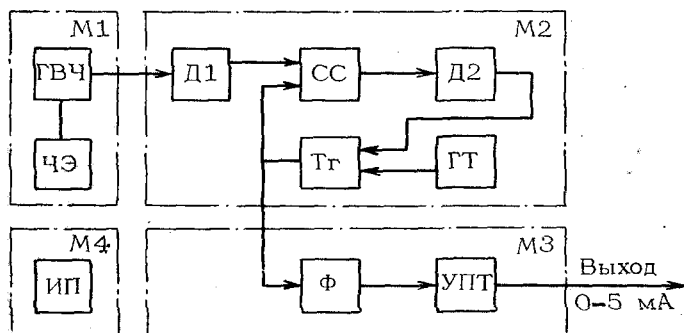


Рис. 7.5. Структурная схема уровнемера типа РУМБ-1

При измерении уровня электропроводных сред с удельной электропроводностью более 3 См/м изменение уровня эквивалентно перемещению короткозамыкающей перемычки вдоль отрезка линии. С повышением уровня частота генератора увеличивается в результате уменьшения электрической длины отрезка.

Структурная схема уровнемера типа РУМБ-1 приведена на рис. 7.5. Уровеньмер состоит из четырех модулей: *M1* (первичный преобразователь), *M2* (высокочастотный преобразователь), *M3* (измерительный преобразователь), *M4* (источник питания). Модуль *M1* образует первичный преобразователь, модули *M2*, *M3*, *M4* входят в состав вторичного преобразователя. Модуль *M1* состоит из чувствительного элемента *ЧЭ* и генератора высокой частоты *ГВЧ*. Генератор вырабатывает синусоидальное напряжение, частота которого зависит от уровня измеряемой среды в *ЧЭ*. Высокочастотный сигнал с *ГВЧ* подается на диапазонный делитель *Д1* модуля *M2*. Последний выполняет операцию приведения всех частотных диапазонов выходного сигнала с *M1* к одному частотному диапазону, не зависящему от длины *ЧЭ*.

С диапазонного делителя *Д1* сигнал поступает на схему преобразования частоты в низкочастотную периодическую последовательность прямоугольных импульсов постоянной амплитуды с длительностью, пропорциональной входной частоте. Схема преобразования состоит из тактового генератора *ГТ*, триггера *Тг* с отдельными входами, схемы совпадения *СС* и делителя *Д2*.

Тактовый генератор *ГТ* формирует узкие тактовые импульсы с частотой следования 1 кГц, управляющие работой схемы и задающие начало отсчета временного интервала. Тактовый импульс с *ГТ* опрокидывает триггер *Тг*. Открывается схема совпадения *СС*, и последовательность импульсов с *Д1* поступает на делитель *Д2*. Делитель *Д2* с постоянным коэффициентом деления,

поделив приходящую частоту, выходным импульсом возвращает триггер T_2 в исходное состояние. Схема совпадения CC закрывается. Прохождение сигнала с $D1$ прекращается. С триггера снимается импульс, длительность которого пропорциональна частоте входного сигнала.

Периодическая последовательность импульсов с T_2 поступает на фильтр Φ модуля $M3$. С выхода Φ снимается постоянное напряжение, пропорциональное длительности входных импульсов. Далее напряжение с Φ преобразуется в усилителе постоянного тока $УПТ$ в выходной унифицированный сигнал постоянного тока 0—5 мА, пропорциональный значению измеряемого уровня.

Модуль $M4$ содержит источники питания ИП модулей $M1$, $M2$, $M3$.

Технические данные:

Верхние пределы измерений, м	1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10
Класс точности	1; 1,5
Напряжение питания, В	220
Выходной сигнал, мА	0—5
Потребляемая мощность, В·А	20
Давление, МПа	2,5; 6,4
Температура, °С	-60 ÷ +100; -60 ÷ +250
Масса вторичного преобразователя, кг	6
Масса первичного преобразователя при диапазоне измерения 0—1 м, кг	10
Масса каждого последующего метра, кг	2
Масса кабеля, кг	10
Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч	0,96

Резонансный уровнемер модульно-блочный типа РУМБ-2 предназначен для непрерывного автоматического дистанционного измерения уровня диэлектрических жидких агрессивных и неагрессивных сред.

С целью компенсации влияния изменения диэлектрической проницаемости контролируемой среды на результаты измерения уровнемер выполняется по двухканальной схеме. Диэлектрическая проницаемость контролируемой среды от 1,8 до 2,7 и от 2,7 до 4,0.

Давление, МПа	2,5; 6,4
Температура, °С	От -60 до +100; от -60 до +250
Класс точности	1; 1,5
Верхний предел измерения, м	1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	20
Выходной сигнал, мА	0—5
Масса вторичного преобразователя, кг	6,5
Масса каждого последующего метра, кг	4
Масса кабеля, кг	20
Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч	0,96

Уровнемер высокочастотный типа РУМБ-41 (с аналоговым и цифровым выходным сигналом) предназначен для измерения уровня агрессивных и неагрессивных жидких сред практически с любыми электропроводными свойствами: растворов кислот, солей, щелочей, воды, нефти, нефтепродуктов, органических минеральных материалов, ацетона, жидкого аммиака, спиртов и т. п.

Принцип действия уровнемера основан на импульсном высокочастотном методе измерения, использующем эффект отражения импульсного сигнала, распространяющегося в однородном отрезке длинной линии (чувствительном элементе первичного преобразователя), от неоднородности в виде границы раздела газ — контролируемая среда (уровень). Неоднородность обусловлена отличием электропроводных свойств газовой и жидкой фаз.

Выходной характеристикой первичного преобразователя является зависимость времени распространения импульсного сигнала вдоль отрезка линии от точки возбуждения до границы раздела газ — среда и обратно.

Измерение временного интервала осуществляется косвенным образом посредством измерения частоты импульсного генератора, работающего в ждущем режиме.

На рис. 7.6 приведена структурная схема уровнемера типа РУМБ-41 с аналоговым выходом. Уровнемер состоит из первичного преобразователя (модуль

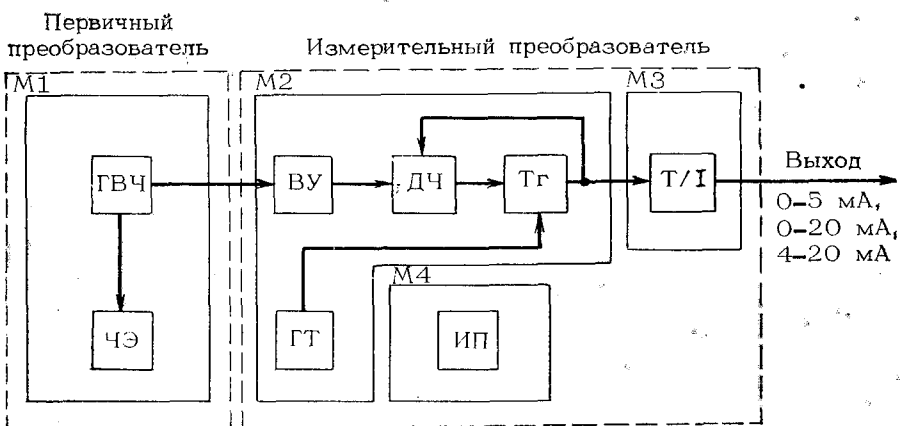


Рис. 7.6. Структурная схема уровнемера типа РУМБ-41 с аналоговым выходом

М1) и измерительного преобразователя (модули М2, М3, М4). Модуль М1 состоит из чувствительного элемента ЧЭ и генератора высокой частоты ГВЧ. Последовательность импульсов высокой частоты, пропорциональная уровню, с ГВЧ подается на входное устройство ВУ модуля М2, осуществляющего преобразование частоты в период. ВУ производит нормирование сигнала с ГВЧ, т. е. обеспечивает приведение всех частотных диапазонов выходного сигнала М1 к одному частотному диапазону, независимому от длины чувствительного элемента. С ВУ сигнал поступает на схему преобразования частоты в низкочастотную периодическую последовательность прямоугольных импульсов с периодом, пропорциональным входной частоте. Схема преобразования частоты в период состоит из кварцевого генератора тактовых импульсов ГТ (частотой 1 кГц), триггера Тг с отдельными входами и делителя частоты ДЧ. Тактовый импульс с ГТ открывает триггер Тг. При этом открывается вход низкочастотного делителя ДЧ и на него с ВУ поступает последовательность импульсов. Делитель ДЧ с постоянным коэффициентом деления выходным импульсом возвращает триггер Тг в исходное состояние, и вход низкочастотного делителя ДЧ

закрывается. На выходе триггера формируется импульс, длительность которого пропорциональна частоте входного сигнала.

Периодическая последовательность импульсов с T_g поступает на вход модуля $M3$. Последний представляет собой функциональный преобразователь T/I , преобразующий периодическую последовательность импульсов в унифицированный выходной сигнал постоянного тока $0-5$ мА ($0-20$; $4-20$ мА), пропорциональный значению измеряемого уровня. Преобразователь состоит из фильтра и усилителя постоянного тока. Модуль $M4$ содержит источники питания $ИП$ модулей $M1$, $M2$ и $M3$.

На рис. 7.7 приведена структурная схема уровнемера типа РУМБ-41 с цифровым выходом. Уровнемер состоит из первичного преобразователя (модуль $M1$)

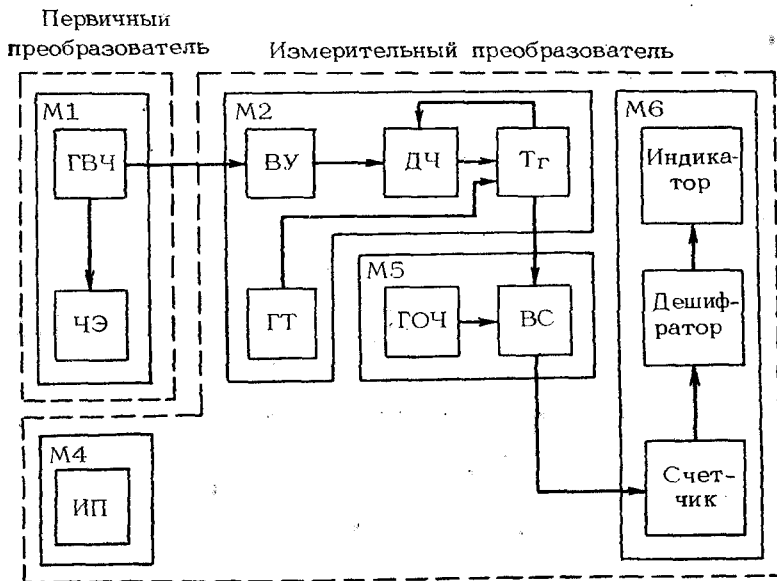


Рис. 7.7. Структурная схема уровнемера типа РУМБ-41 с цифровым выходом

и измерительного преобразователя (модули $M2$, $M4$, $M5$, $M6$). Работа модулей $M1$ и $M2$ аналогична работе этих модулей в уровнемере типа РУМБ-41 с аналоговым выходом. Модули $M5$ и $M6$ обеспечивают преобразование длительности сигнала с выхода триггера T_g , пропорционального периоду высокочастотного сигнала с первичного преобразователя, в выходной сигнал в цифровой форме. Модуль $M5$ включает генератор опорной частоты $ГОЧ$ и схему временного селектора $ВС$. Временной селектор содержит схему совпадения и триггер со счетным входом. В момент поступления с T_g на схему совпадения прямоугольного импульса через схему совпадения с генератора опорной частоты проходят импульсы на счетчик. Число импульсов, поступивших на счетчик, пропорционально длительности сигнала с T_g . Тактовые импульсы с $ГТ$ подаются на счетный вход триггера $ВС$, служащего для переключения схемы уровнемера из режима рабо-

ты Счет в режим работы *Индикация*. В конце работы в режиме *Индикация* производится сброс счетчика. Дешифратор преобразует двоично-десятичный код счетчика в десятичный. Результаты измерения отображаются устройством индикации.

Комплект каждого прибора типа РУМБ-41 с аналоговым и цифровым выходом состоит из первичного преобразователя, монтируемого в емкости или агрегате с контролируемой средой, и измерительного преобразователя, предназначенного для монтажа внутри помещения.

Технические данные:

Пределы измерений, м	1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 20
Класс точности	1; 1,5; 2,5
Напряжение питания, В	220
Выходной сигнал:	
аналоговый, мА	0—5; 0—20, 4—20
цифровой, разряд	3
Потребляемая мощность, В·А	20
Давление контролируемой среды, МПа	До 10
Температура контролируемой среды, °С	От —60 до +250
Длина линии связи, м	От 5 до 100 (через 5 м)
Масса вторичного преобразователя, кг	6
Масса первичного преобразователя (на 1 м), кг	9
Масса каждого последующего метра, кг	2
Масса кабеля, кг	10
Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч	0,96

Резонансный уровнемер модульно-блочный типа РУМБ-51 предназначен для непрерывного измерения уровня агрессивных и неагрессивных электропроводных и диэлектрических жидких сред и выдачи двух пороговых сигналов релейного типа, соответствующих двум предельным значениям уровня.

Уровнемер типа РУМБ-52 предназначен для непрерывного измерения уровня жидких сред.

Принцип действия уровнемеров основан на изменении выходного сопротивления высокочастотного колебательного контура в области резонанса вследствие изменения реактивного сопротивления, включенного в контур чувствительного элемента, в зависимости от степени погружения чувствительного элемента в контролируемую среду.

Пределы измерения, м	0,4; 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 20
Давление, МПа	1,6; 6,4
Температура, °С	От —60 до +100; от —60 до +250; от —40 до +80
Напряжение питания, В	127; 220
Потребляемая мощность, В·А	15 (РУМБ-51); 10 (РУМБ-52)

Масса, кг	15
Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч	0,96

Измеритель уровня аммиака типа IPYU-23 предназначен для измерения и сигнализации уровня жидкого аммиака в сосудах и аппаратах.

Принцип действия измерителя основан на изменении величины входного сопротивления высокочастотного колебательного контура в области резонанса в зависимости от степени погружения чувствительного элемента.

Давление среды, МПа	До 2,4
Температура, °С	От -50 до +40
Диапазон измерения, м	0—0,4
Выходной сигнал, и релейный выход, мА	0—5
Масса, кг	8,5
Напряжение питания, В	127, 220
Потребляемая мощность, В·А	15
Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч	0,96

Уровнемер высокочастотный дискретный типа РУДА предназначен для дистанционного автоматического измерения уровня сыпучих гранулированных материалов с наибольшим линейным размером гранул в пределах от 0,25 до 15 мм. Уровнемеры с выходным цифровым сигналом имеют цифровое табло дискретного отсчета уровня с шагом 2% диапазона измерения и релейный выход. Уровнемеры с выходным аналоговым сигналом обеспечивают выходной сигнал 0—5 и 4—20 мА.

Пределы измерений, м	6; 10; 16; 20; 25; 30
Класс точности	1,5
Напряжение питания, В	220
Температура среды, °С	От -30 до +100
Давление, МПа	до 0,6
Масса, кг	От 22,5 до 37,5
Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч	0,96

Уровнемер высокочастотный бесконтактный следящий типа РУДА-ЛОТ предназначен для автоматического дистанционного измерения уровня мелкодисперсных сыпучих материалов.

Уровнемеры с цифровым выходным сигналом имеют цифровое табло дискретного отсчета уровня с шагом дискретности 0,01 м и релейный выход.

Уровнемеры с выходным аналоговым сигналом обеспечивают выходной сигнал постоянного тока 0—5; 0—20; 4—20 мА.

Принцип действия уровнемера основан на регистрации изменений реактивных параметров неконтактирующего с контролируемой средой чувствительного элемента, включенного в цепь обратной связи электромеханической следящей системы, при отклонении расстояния между чувствительным элементом и поверхностью контролируемой среды от первоначально установленного.

Пределы измерения, м	6; 10; 16; 20; 25; 30; 35; 40
Класс точности	0,5
Выходной сигнал:	
аналоговый, мА	0—5; 0—20; 4—20
цифровой, м	0—40 (шаг 0,5 м)
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	50
Давление в объекте, МПа	До 0,6
Температура в объекте, °С	От —50 до +150
Масса, кг	14,5
Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч	0,96

Сигнализатор уровня высокочастотный десятипозиционный типа РУДА-С10 предназначен для автоматического дистанционного контроля десяти дискретных значений уровня (с шагом дискретности 10% диапазона измерений) гранулированных сыпучих материалов с наибольшим линейным размером гранул от 0,25 до 15 мм. Сигнализатор имеет цифровое показывающее табло и релейный выход.

Пределы измерения, м	2,5; 4; 6; 10; 16; 20; 25; 30
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	20
Масса, кг	10,5—27,5
Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч	0,96

Сигнализаторы уровня типа СУС предназначены для контроля уровня (в одной или двух точках) жидких и сыпучих (кусковых и порошкообразных) электропроводных и неэлектропроводных сред и контроля уровня раздела жидкостей нефтепродукты — вода и других жидкостей с резко отличающимися относительными диэлектрическими проницаемостями, находящихся под атмосферным или избыточным давлением.

Принцип действия сигнализаторов уровня основан на изменении входного сопротивления высокочастотного резонансного колебательного контура в области резонанса при воздействии контролируемой среды на емкостный или индуктивный чувствительный элемент контура. На колебательный контур от высокочастотного генератора подается напряжение постоянной амплитуды фиксированной частоты, близкой к резонансной частоте контура в отсутствие среды в зоне чувствительного элемента. При этом с контура снимается сигнал максимальной амплитуды.

При перемещении контролируемой среды в зоне чувствительного элемента изменение емкости или индуктивности его вызывает уменьшение амплитуды высокочастотного сигнала с контура в соответствии с его амплитудно-частотной характеристикой.

Изменение амплитуды высокочастотного сигнала с контура преобразуется в изменение напряжения постоянного тока, управляющего работой выходного реле во вторичном преобразователе. Основные технические данные сигнализаторов приведены в табл. 7.5.

Таблица 7.5. Сигнализаторы СУС

Тип	Среда	Длина погружаемой части, м	Температура, °С	Давление, МПа
СУС-11	Сыпучая, кусковая неэлектропроводная	—	От —30 до +100	—
СУС-12	Сыпучая, порошкообразная, неэлектропроводная	—	От 0 до +130	—
СУС-13	Жидкая электропроводная	0,10; 0,25; 0,60; 1,0; 1,6; 2,0	От —100 до +250	2,5
СУС-13И				
СУС-13ОМ	Морская, пресная вода, соляные растворы	0,10; 0,25	От —4 до +50 5—90	2,5
СУС-13	Жидкая электропроводная	0,10; 0,25; 0,60; 1; 1,6; 2,0	От —20 до +40	2,5
СУС-13И				
СУС-13ОМ	Морская вода, соляные растворы, пресная вода	0,10; 0,25	От —4 до +40 5—40	0,25
СУС-13	Формовочные смеси	0,19; 0,27; 0,37	5—50	0,6
СУС-14Р	Нефтепродукты — вода	0,25	0—100	4
(уровень раздела фаз)				
СУС-14	Жидкая, сыпучая, неэлектропроводная	0,6; 1; 1,6; 2 0,10; 0,25	От —100 до +200	2,5
СУС-14И				
СУС-14	Техническая дробь	0,12	5—50	0,6
СУС-15	Жидкая, сыпучая, неэлектропроводная	0,25; 0,50; 1; 1,5; 2,0	0—100	0,25
СУС-15И				
СУС-16	Жидкая неэлектропроводная	0,10; 0,25; 0,60	От —100 до +100	2,5
СУС-16И			От —100 до +150	4
			От —100 до +250	6,4
СУС-21	Сыпучая, кусковая электропроводная	—	От —30 до +50	—
СУС-22	Кусковая электропроводная	—	0—130	—

Масса первичного преобразователя, кг	0,9—10
Масса вторичного преобразователя, кг	3,8
Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч	0,98

7.5. Акустические уровнемеры

Принцип действия акустических уровнемеров основан на свойстве ультразвуковых колебаний отражаться от границы раздела сред с различными акустическими сопротивлениями.

На рис. 7.8 приведена структурная схема акустического уровнемера типа ЭХО-1. Уровнемер содержит акустический преобразователь 1 из пьезокерамики,

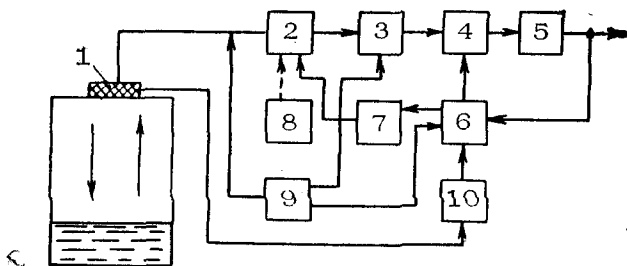


Рис. 7.8. Структурная схема акустического уровнемера типа ЭХО-1

генератор электрических импульсов 9, усилитель-формирователь 2, схему измерения времени 3, ячейку сравнения 4, усилитель 5, элемент обратной связи 6, блок температурной компенсации 10, помехозащищающие устройства 7, блок контроля работоспособности схемы 8. Генератор вырабатывает импульсы, которые преобразуются акустическим преобразователем в ультразвуковые, распространяющиеся вдоль акустического тракта. Отражаясь от уровня жидкости, они воспринимаются тем же преобразователем. Унифицированный выходной сигнал пропорционален значению уровня.

Уровнемер типа ЭХО-1 предназначен для непрерывного автоматического дистанционного измерения уровня различных жидкостей, в том числе неоднородных, кристаллизующихся и выпадающих в осадок, выпускается двух типов: ЭХО-1-6 для рабочих давлений 0,6 МПа; ЭХО-1-40 для рабочих давлений 4 МПа.

Диапазон измерений, м	0—1; 0—2; 0—3
Класс точности	2,5
Температура среды, °С	10—80
Выходной сигнал, мА	0—5
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	20
Масса блоков, кг	20
Масса кабеля, кг/м	2

Уровнемер типа ЭХО-2У предназначен для бесконтактного автоматического дистанционного измерения уровня сыпучих и кусковых материалов с размером

Таблица 7.6. Основные характеристики радионуклидных уровнемеров

Тип прибора	Конструктивное исполнение датчика	Диапазон измерения, м	Основная погрешность измерения	Скорость слежения за уровнем, мм/мин	Потребляемая мощность, В·А	Условия окружающей среды		Источник излучения	Активность источника, мКи	Масса уровнемера, кг
						Температура, °С	Влажность, %			
УР-8	Герметичное, нормальное или взрывозащищенное (ПОД)	0—2, 0—4, 0—6, 0—8	Не более ± 10 мм	Не менее ± 100	50	-30 ÷ +40	95 ± 3	¹³⁷ Cs	1,19	68,5 или 99
УДАР-5	Взрывонепроницаемое с искробезопасными элементами	0,4—15	Не более ± 1 мм	500 ± 50	80	-40 ÷ +50	95	¹³⁷ Cs	13	150
УРМС-2М	Пылебрызгозащищенное	0—4	$\pm 2,5\%$	2200, 1000, 3000	1000	+10 ÷ +50	95	⁶⁰ Co	320	268
РУ-100	Пылебрызгозащищенное	0—20	Не более ± 10 мм	До 35	—	+5 ÷ +40	80	¹³⁷ Cs	8	—
РАУС-1	—	До 3	Не более ± 1 мм	До 30	—	—	—	—	—	—

гранул и кусков от 2 до 200 м.

Пределы измерения, м	2,5; 4; 6; 10; 16; 20; 30
Класс точности	1; 1,5
Выходной сигнал, мА	0—5; 0—20; 4—20
Температура среды, °С	От —50 до +120
Напряжение питания, В	220
Масса блоков, кг	5; 7; 10; 12
Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч	0,97

Для измерения уровня сыпучих сред применяется акустический уровнемер типа ЭХО-2У, который имеет технические характеристики, аналогичные характеристикам ЭХО-2, но позволяет контролировать уровень сыпучих и кусковых сред с диаметром гранул 2—200 мм.

7.6. Радионуклидные уровнемеры

Принцип действия радионуклидных уровнемеров состоит в изменении интенсивности потока ионизирующих излучений при его прохождении через контролируемые среды. Основные узлы радионуклидного уровнемера — источник и приемник излучения. В табл. 7.6 приведены характеристики радионуклидных уровнемеров.

Глава 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ

8.1. Газоанализаторы

Газоанализаторы предназначены для получения информации о концентрации компонента или суммы компонентов в анализируемой газовой смеси. В современных газоанализаторах используются разнообразные принципы действия и методы анализа состава газовых компонентов, входящих в газовые смеси.

В комплект газоанализатора входят измерительный преобразователь, вторичный измерительный прибор, вспомогательные устройства.

По принципу действия различают тепловые (термомагнитные, термокондуктометрические, термохимические), гальванические, оптические, фотометрические и другие газоанализаторы.

В термомагнитных газоанализаторах используется явление термомагнитной конвекции, которое возникает в неравномерном магнитном поле около нагретого тела, окруженного парамагнитным газом. Движение газа влияет на теплоотдачу нагревательного элемента, включенного в схему измерительного моста, что приводит к изменению его температуры и сопротивления и к разбалансу моста.

Газоанализаторы типа МН предназначены для определения содержания кислорода в различных газовых смесях. Измерительные схемы газоанализаторов выполнены по принципу компенсационно-мостовых схем, состоящих из одного рабочего и одного сравнительного мостов; по ячейкам, в которых находятся чувствительные элементы рабочего моста, протекает анализируемая газовая смесь, по ячейкам сравнительного моста — воздух.

В электрической измерительной схеме (рис. 8.1) газоанализатора применен принцип электрической схемной компенсации, позволяющий компенсировать

влияние неизмеряемых компонентов газовой смеси путем ввода в измерительную схему электрических сигналов, зависящих от содержания неизмеряемых компонентов. Термозлементы (чувствительные элементы) 1, 2, 7, 8 размещаются в четырех ячейках корпуса приемной камеры. Элементы 2, 8 расположены в магнитном поле магнитов 5. Одна пара ячеек сообщается с воздухом, через другую проходит анализируемая смесь. Разность напряжений, снимаемых с диагоналей мостов I, II, образованных элементами 1—4, 7—10, усиливается электронным усилителем 11 и приводит в движение двигатель 12. Двигатель, перемещая подвижный контакт реохорда 6, восстанавливает равновесие схемы.

Перед вводом в приемную камеру смесь должна быть охлаждена, очищена от механических и химических примесей, влагосодержание должно быть доведе-

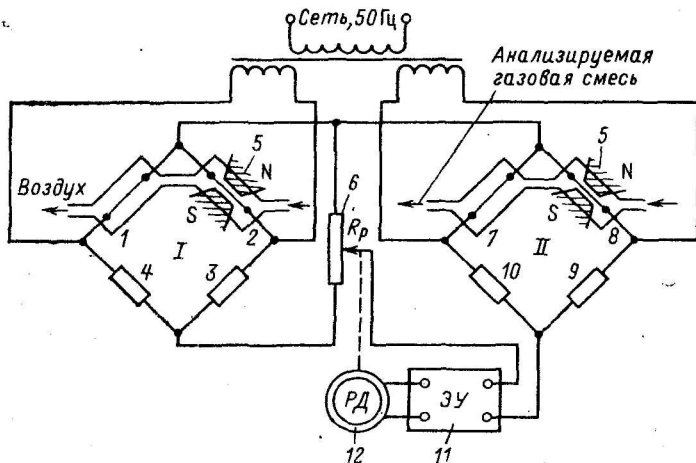


Рис. 8.1. Измерительная схема термомагнитного газоанализатора типа МН: 1 — сравнительный мост; II — измерительный мост; 1—4, 7—10 — плечевые элементы; 5 — магниты; 6 — реохорд; 11 — электронный усилитель; 12 — реверсивный двигатель

но до допустимых значений. Необходимые для этой цели вспомогательные устройства поставляются вместе с газоанализатором.

Наиболее широкое применение находят следующие термомагнитные газоанализаторы.

Газоанализатор типа МН5130М предназначен для определения содержания кислорода в газовой смеси. Выпускается с показывающим или самопишущим прибором.

Пределы измерений, % по объему	98—100, 90—100
Напряжение питания, В	127, 220
Потребляемая мощность, В·А	100
Масса приемника, кг	27,5

Газоанализатор типа МН5106М предназначен для непрерывного измерения и регистрации объемной концентрации кислорода в дымовых газах топок котельных установок.

Пределы измерений, % по объему	0—2, 0—5, 0—10
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	60
Масса щита, кг	60
Масса вторичного прибора, кг	17

Термокондуктометрические газоанализаторы. Принцип действия термокондуктометрических газоанализаторов основан на измерении теплопроводности газовой смеси, которая практически определяется содержанием в ней анализируемого компонента. Теплопроводность измеряют косвенно по изменению электрического сопротивления чувствительного элемента, помещенного в анализируемую газовую смесь. В газоанализаторах применяют прямую и дифференциальную измерительные газовые схемы. По схеме прямого измерения анализируемая газовая смесь проходит через две рабочие камеры с чувствительными элементами; в двух сравнительных камерах чувствительные элементы герметично закрыты и окружены газом постоянного состава. По дифференциальной схеме измерения анализируемая газовая смесь проходит через рабочие камеры, а затем после предварительного удаления из нее контролируемого компонента в печи дожигания или поглотителя за пределами газоанализатора поступает в сравнительные камеры и выполняет функции сравнительного газа. В качестве чувствительных элементов применены платиновые терморезисторы, которые включены в плечи электрического измерительного моста. При изменении концентрации контролируемого компонента в измерительной диагонали моста появляется напряжение разбаланса, пропорциональное концентрации.

Электрическая измерительная схема газоанализаторов типа ТП (рис. 8.2) выполнена на компенсационном принципе и состоит из двух мостов — рабочего А и сравнительного Б. Разность напряжений, снимаемых с диагоналей мостов, образованных плечевыми элементами 1—4, 5—8, подается на электронный усилитель ЭУ, который приводит в движение реверсивный двигатель РД. Двигатель, перемещая подвижный контакт реохорда R_p, восстанавливает равновесие схемы.

Технические характеристики термокондуктометрических газоанализаторов. Газоанализатор автоматический типа ТП1133В предназначен для непрерывного определения объемной концентрации водорода.

При достижении предельно допустимой концентрации водорода предусмотрены включение световой сигнализации и выдача сигнала на включение вентиляции.

Предел измерений, % по объему	6
Класс точности	4
Напряжение питания от аккумуляторной батареи, В	26
Масса, кг	32

Газоанализатор автоматический типа ТП1116 предназначен для измерения объемной концентрации водорода во взрывоопасном помещении в четырех точках и для сигнализации о достижении заданных значений.

Пределы измерений, % по объему	0—5
Масса, кг	55

Газоанализатор типа ТП5501 для определения содержания водорода в газовой смеси предназначен для непрерывного измерения содержания водорода в

газовых смесях, содержащих, кроме водорода, двуокись углерода, метан, азот и окись углерода в любых количествах и кислород в количествах, исключающих возможность образования взрывоопасных смесей. Газоанализатор поставляется с приборами КСМ2-024 или КВМ1-503.

Газоанализатор имеет семь модификаций:

ТП1120 — на водород в газовых смесях с диапазонами измерений, % по объему: 0—1; 0—2; 0—3; 0—5; 0—10; 0—20; 0—60; 0—100; 50—100, 60—100; 80—100; 90—100; 95—100;

ТП5004 — на воздух в гелии с диапазонами измерений, % по объему: 0—0,05; 0—1; 0—5; 0—10;

ТП7102 — на гелий в воздухе с диапазонами измерений, % по объему: 0—5; 0—10; 90—100; 95—100;

ТП5005 — на воздух в водороде с диапазонами измерений, % по объему: 0—1; 0—5;

ТП12301 — на метан в воздухе с диапазонами измерений 0—100% по объему;

ТП2220 — на двуокись углерода в газовых смесях с диапазонами измерений, % по объему: 0—10; 0—20; 0—30; 0—40; 50—100; 80—100; 95—100;

ТП4102 — на азот в гелии с диапазонами измерений, % по объему: 0—20; 0—40; 60—100; 80—100.

Технические характеристики газоанализатора типа ТП5501

Напряжение питания, В	127, 220
Потребляемая мощность, В·А	100
Масса, кг::	
приемника	9
компаратора:	
на базе КСМ2	17
на базе КВМ1	12,5
стабилизатора С-0,09	7

Газоанализатор типа ТП2221М предназначен для определения содержания углекислого газа в газовой смеси, содержащей, кроме двуокиси углерода, азот, кислород, окись углерода, водород, аргон, гелий и метан.

Пределы измерений, % по объему	0—10; 0—20; 0—30; 0—40
Напряжение питания, В	127, 220
Потребляемая мощность, В·А	150
Масса приемника, кг	9

Оптические (оптико-акустические) газоанализаторы. Принцип действия оптико-акустических газоанализаторов (рис. 8.3) основан на способности определяемого газа поглощать инфракрасные лучи. Каждый газ поглощает инфракрасное излучение только в своих, свойственных ему участках спектра. Измерение концентрации газа производится на основании оптико-акустического эффекта, который заключается в том, что газ, способный поглощать инфракрасные лучи, при прерывистом облучении в замкнутом объеме (лучеприемнике 14) периодически нагревается и охлаждается, в результате чего происходят колебания давления газовой смеси. Колебания давления воспринимаются чувствительным элементом — мембраной 15, которая является одной из обкладок конденсаторного микрофона. В качестве источника инфракрасного излучения (излучателя 9) ис-

пользуется хромоникелевая проволока, нагретая источником питания 6 до 700—800 °С. Инфракрасное излучение от зеркал 8 пропускают через окна, изготовленные из синтетического корунда или других материалов, пропускающих это излучение. Прерывание потока излучения производится обтуратором 10, вращаемым электродвигателем 7 с частотой 5—6 Гц. Изменение емкости конденсатора при действии на лучеприемник полного потока инфракрасного излучения в среднем составляет 0,3 пФ при смещении мембраны на 1 мкм. На выходе

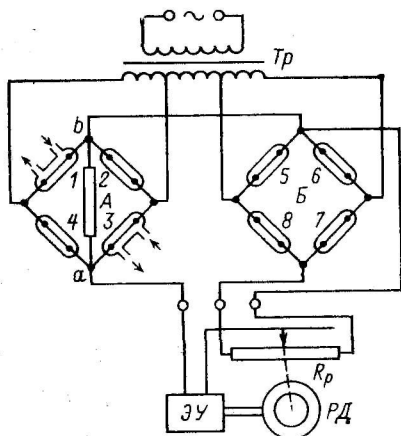


Рис. 8.2. Измерительная схема термокондуктометрического газоанализатора типа ТП:

А — рабочий мост; Б — сравнительный мост; R_{ρ} — реохорд; ЭУ — электронный усилитель; РД — реверсивный двигатель; 1—8 — плечевые элементы

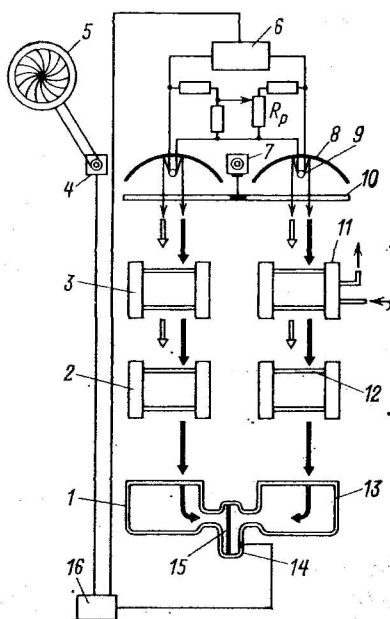


Рис. 8.3. Схема оптико-акустического газоанализатора типа ОА:

1, 13 — приемные камеры; 2, 12 — фильтровые камеры; 3 — сравнительная камера; 4 — реверсивный двигатель; 5 — регистрирующий прибор; 6 — источник питания; 7 — электродвигатель; 8 — зеркало; 9 — излучатели; 10 — обтуратор; 11 — рабочая камера; 14 — лучеприемник; 15 — микрофонная мембрана; 16 — электронный усилитель

конденсаторного микрофона появляется электрический сигнал переменного тока, амплитуда которого пропорциональна концентрации определяемого компонента анализируемой газовой смеси. Сигнал усиливается электронным усилителем 16. Включается реверсивный двигатель 4 регистрирующего прибора 5.

В двухканальных дифференциальных схемах потоки излучения поступают в два оптических канала — в рабочую кювету (камера 11) с анализируемой газовой смесью и сравнительную камеру 3, заполненную газовой смесью постоянного состава. Фильтровые камеры 2, 12 заполняются неизменяемыми газами, которые поглощают излучение спектра частот мешающих газов (белые стрелки); полоса частот определяемых газов (черные стрелки) проходит свободно к приемным камерам 1, 13 лучеприемника. Прерывистые потоки излучения, сдвинутые

по фазе на половину периода оборота обтюратора, суммируются и создают в пространстве приемных камер колебания давления, вызывающие колебания мембраны. При равенстве потоков колебания давления не происходит.

В промышленности применяют следующие типы оптических газоанализаторов.

Газоанализаторы типов 0A2109M, 0A2209M, 0A2309M предназначены для непрерывного измерения содержания соответственно окиси углерода, двуокиси углерода и метана в газовых смесях, содержащих окись углерода, метан, азот, кислород и водород в любых количествах.

Пределы измерений, % по объему	0—1; 0—2; 0—5; 0—10; 0—20; 0—30; 0—35; 0—50; 0—70; 0—100
Напряжение питания, В	127
Потребляемая мощность, В·А	150
Масса, кг	57

Газоанализатор типа 0A5501 предназначен для непрерывного определения малых концентраций окиси углерода, двуокиси углерода, метана в газовых смесях, содержащих, кроме указанных газов, азот, кислород, водород и инертные газы. Может быть использован в схемах сигнализации и автоматического регулирования.

Пределы измерений, % по объему:	
окиси углерода или метана	0—0,05; 0—0,1; 0—0,2; 0—0,5
двуокиси углерода	0—0,01; 0—0,02; 0—0,05; 0—0,1; 0—0,2; 0—0,5
Напряжение питания, В	127
Потребляемая мощность, В·А	200
Масса, кг	80

Термохимические газоанализаторы. Действие термохимических газоанализаторов основано на измерении теплового эффекта реакции определяемого газа с другими газами, протекающей в присутствии катализатора. Количество выделившейся теплоты пропорционально количеству содержащегося в смеси анализируемого газа при постоянстве расхода смеси.

В газоанализаторе типа ТХГ5М измерение количества теплоты производится при помощи термопреобразователей сопротивления, включенных в схему электрического моста. Датчик газоанализатора выполнен с двумя камерами — рабочей и сравнительной, в которых располагаются термопреобразователи. Рабочая камера заполнена катализатором, в котором сгорает анализируемый компонент; в сравнительной камере находится неактивная масса. Датчик термостатирован, температура обогрева 200 °С. Предварительно осушенный и очищенный газ поступает в мембранный регулятор расхода, поддерживающий постоянство расхода.

Электрическая схема представляет собой автоматический уравновешенный мост, в котором в два плеча включены термопреобразователи сопротивления, находящиеся в сравнительной и рабочей камерах датчика. Обмотка обогрева датчика питается напряжением 220 В.

Область применения газоанализатора: определение содержания кислорода (0—1% по объему) в электролитическом водороде; определение содержания водорода (0—2% по объему) в электролитическом кислороде; определение содержания кислорода (0—1% по объему) в генераторном газе.

Комплект газоанализатора: датчик, блок индикации; вторичный прибор КСПЗ со шкалой 0—10 мВ; регулятор расхода; ротаметр РС-3А; стабилизатор напряжения С-0,09.

Гальванические (электрохимические) газоанализаторы. Действие электрохимических газоанализаторов основано на электрохимической реакции, вызывающей образование тока в электролите при взаимодействии определяемого газа с электродом. Сила тока, протекающего по внешней цепи электролита, пропорциональна концентрации определяемого газа в газовой смеси.

Газоанализатор типа ГЛ5108 — универсальный, предназначен для непрерывного определения микроконцентраций кислорода в азоте, аргоне, гелии, водороде и др. Может работать в системах сигнализации. При подключении дублирующего прибора может быть использован в схемах автоматического регулирования.

Пределы измерений, % по объему	0—0,5; 0—0,01; 0—0,005; 0—0,001; 0—0,0005 0—0,0001
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	350
Масса, кг	150

8.2. Хроматографы

Принцип действия хроматографов основан на предварительном разделении составляющих анализируемую смесь компонентов в результате адсорбционных процессов, происходящих при движении смеси вдоль слоя сорбента, или за счет различий растворимости компонентов в жидкости.

Последующее выделение отдельных компонентов и определение их концентрации осуществляется детектором. Выходной электрический или пневматический импульс детектора передается на автоматический прибор, записывающий хроматограмму, состоящую из ряда пиков, каждый из которых соответствует определенному компоненту анализируемой смеси. Площадь пика пропорциональна процентному содержанию компонентов в смеси.

В газовых хроматографах разделение компонентов производится за счет различной поглощаемости или неодинакового растворения компонентов газовой смеси, проходящей через слой неподвижного сорбента. В результате этого скорость движения газов меняется в соответствии со степенью поглощения каждого газа. Чем больше сорбируемость газа, тем больше торможение и меньше его скорость движения. С течением времени из-за различия скорости газы отделяются друг от друга. Проба продувается через слой сорбента при помощи газа-носителя. При постоянном расходе газа-носителя и постоянной температуре время выхода из хроматографической колонки компонента всегда постоянно, поэтому может быть установлена определенная очередность выхода компонентов, которая является качественным показателем при хроматографическом анализе. Каждый из компонентов обнаруживается при помощи детектора.

Хроматограф промышленный типа ХП-499 предназначен для контроля химического состава газообразных продуктов непосредственно на технологических

установках нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов. Хроматограф можно использовать в качестве датчика систем автоматического регулирования, для чего в приборе предусмотрен пневматический выход. Хроматограф состоит из панелей подготовки газов, датчика, блока управления и регистратора типа КСП4. Детектирование смесей осуществляется четырехплечим детектором по теплопроводности. Колонка и детектор термостатированы и находятся в корпусе датчика, выполненного во взрывонепроницаемом исполнении. Газ-носитель — азот, гелий, воздух. Продолжительность цикла анализа не менее 4 мин.

Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	420
Масса, кг	250

Хроматограф промышленный типа «Нефтехим-200» предназначен для определения состава многокомпонентных смесей газов, паров и жидкостей. Два блока хроматографа — анализатор и блок переключателей — изготовлены во взрывобезопасном исполнении. В зависимости от назначения изготавливают две модели прибора — ВКГ и ВКЖ (В — взрывозащищенный анализатор, К — катарометр-детектор по теплопроводности, Ж — дозатор жидких проб, Г — дозатор газовых проб).

Пределы измерений по концентрации, %	0—100
Температура термостата, °С	40—200
Температура испарителя, °С	100—300
Давление газа-носителя, МПа	0,4
Расход газа-носителя, л/ч	0,5—8
Количество разделительных колонок	4
Длина колонки, м	10
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	1500
Масса, кг	260

Цифровой интегратор типа И-02 предназначен для измерений площади и времени удерживания хроматографического пика на хроматограмме при анализе состава вещества с помощью хроматографа.

Диапазон измеряемой площади импульсов (при входном напряжении не более 0,2 В с частотой следования входных импульсов не более 0,25 Гц) 0,002—100 В·с.

Диапазон измерения времени удерживания 1—9999 с.

Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	110
Масса, кг	25

8.3. Приборы для измерения вязкости

Вязкостью называют свойство жидкостей и газов, характеризующее их сопротивляемость деформации сдвига. За единицу динамической вязкости в Международной системе единиц принимают вязкость жидкости, в которой напряжение сдвига, создаваемое силой 1 Н между двумя слоями площадью 1 м², вызывает градиент скорости 1 м/с при расстоянии между слоями 1 м. Единица динамической вязкости Па·с. Внесистемная единица динамической вязкости пуаз (П) составляет 0,1 Па·с.

На практике часто используют кинематическую вязкость, представляющую собой отношение динамической вязкости к плотности жидкости. Единица кинематической вязкости $\text{м}^2/\text{с}$. Внесистемная единица кинематической вязкости стокс (Ст) составляет 0,0001 $\text{м}^2/\text{с}$. Для измерения вязкости применяют вискозиметры.

Автоматические общепромышленные вискозиметры по принципу действия подразделяются на ротационные, вибрационные, шариковые и капиллярные.

Действие вибрационных вискозиметров основано на зависимости степени затухания колебаний чувствительного элемента, погруженного в контролируруемую среду, от ее вязкости. По конструктивному исполнению вибрационные вискозиметры выпускают двух типов: электромагнитные и ультразвуковые.

Вибрационный низкочастотный вискозиметр типа ВВН-3 состоит из возбуждающей и приемной электромагнитных систем и вибратора, который проходит между разноименными полюсами магнитов обеих систем. Один конец вибратора находится в контролируемой среде. При подаче переменного напряжения с постоянной амплитудой на возбуждающую систему создается переменное магнитное поле, и вибратор приходит в колебательное движение. Колебания вибратора вызывают изменение величины магнитного потока в приемной системе, в катушках ее наводится ЭДС, пропорциональная вязкости.

Диапазон измерения вязкости, сП	1—10; 3—30; 5—50; 10—100; 20—200; 50—500; 100—1000; 200—2000; 300—3000; 500—5000; 1000—3000; 2000—10 000; 3000—18 000; 5000—30 000
Давление, МПа	До 1
Температура, °С	5—100
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	120

8.4. Приборы для измерения влажности

Содержание влаги в любом теле характеризуется его абсолютной или относительной влажностью. Единица абсолютной влажности $\text{кг}/\text{м}^3$. Используемые в технологических процессах материалы характеризуются влагосодержанием и влажностью. Влагосодержание — отношение массы влаги во влажном материале к массе его сухой части. Влажность — отношение массы влаги ко всей массе влажного материала.

Для измерения влажности газов применяют следующие методы: психрометрический; точки росы; сорбционный; конденсационный; спектрометрический; электрохимический; измерения теплопроводности.

Для определения влажности твердых и сыпучих материалов применяют следующие методы: высушивания; экстракции; кондуктометрический; диэлькометрический; сверхвысокочастотный; оптический; ядерного магнитного резонанса; термовакуумный, теллофизический.

Ниже приведены характеристики некоторых влагомеров.

Влагомер относительной влажности воздуха многоточечный типа ВВ-4 предназначен для измерения, регистрации и регулирования (при наличии регулирующего устройства) относительной влажности воздуха и неагрессивных газов в трех, шести или двенадцати точках.

Влагомер состоит из первичного преобразователя влажности типа ДИВ4 или первичного преобразователя влажности и температуры типа ДИВТ2 и вторичного прибора типа КСМ4. Изготавливается в 24 модификациях.

Пределы измерений, %	20—80, 40—90
Длина линии связи между датчиком и вторичным прибором, м, не более	700
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	25
Масса первичных преобразователей, кг	130 и 245
Масса вторичного прибора, кг	25

Влагомер автоматический типа АПВ-201 предназначен для непрерывного измерения относительной влажности воздуха в термических камерах.

Пределы измерений, регистрации и регулирования относительной влажности, %	10—100
Температура среды, °С	30—100
Напряжение питания, В	220
Масса, кг	30

Гигрометр сорбционный типа ГС-210 предназначен для непрерывного измерения относительной влажности паровоздушных смесей. Может быть использован в различных системах регулирования влажности.

Пределы измерения относительной влажности, %	15—98
Шкала прибора, %	0—100
Выходной сигнал:	
напряжение, мВ	0—10
ток, мкА	0—100
Температура среды, °С	5—40
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	5
Масса, кг	4,5

Влагомер песка кондуктометрический типа ВПК-200:

Пределы измерений влажности, %	0—10
Выходной сигнал, мВ	0—10
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	50
Масса, кг:	
преобразователя	12
вторичного самопишущего прибора	17

Преобразователь измерительный типа А-280 предназначен для непрерывного преобразования сигналов первичных преобразователей влажности типа ДИВ4-02 (40—90% относительной влажности) в унифицированные сигналы постоянного тока.

Выходной сигнал:	
ток, мА	5
напряжение, В	10
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	20
Масса, кг	3

Датчик контроля фильтра типа ДКФ-101 предназначен для измерения толщины, степени промывки, влажности осадка и автоматического управления работой фильтров периодического действия.

Пределы измерения толщины осадка, мм . . .	0—35, 0—50
Пределы измерения степени промывки и влажности осадка, %	0—100
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	50
Масса, кг	59

8.5. Приборы для измерения плотности

Плотностью называют содержание массы вещества в единице занимаемого им объема. Единица плотности кг/м^3 .

Классификация методов измерения плотности жидкостей приведена на рис. 8.4.

Приборы для измерения плотности называются плотномерами. По принципу действия различают поплавковые, весовые, гидростатические (пьезометрические), вибрационные, радионуклидные плотномеры.

Поплавковые плотномеры основаны на использовании закона Архимеда. Предназначены для измерения плотности жидкости или процентного содержания растворенных веществ в двухкомпонентных растворах.

Весовые плотномеры основаны на измерении массы определенного объема жидкости.

Гидростатические (пьезометрические) плотномеры основаны на измерении гидростатического сопротивления слоя анализируемой жидкости при продувании через него сжатого воздуха. К данному типу плотномеров относят датчики типов КМ, ДПМ, ДРП.

Для измерения плотности жидкостей применяют следующие приборы: поплавковые, весовые, гидростатические, вибрационные, радионуклидные.

Измерение плотности датчиками типов КМ, ДПМ, ДРП осуществляется по разности давлений в двух пьезометрических трубках, погруженных на одинаковую глубину в контролируемую и эталонную жидкости. Датчики КМ и ДРП имеют первичный преобразователь проточный, ДПМ — погружной. Расход контролируемой жидкости через проточный датчик $10 \text{ м}^3/\text{ч}$. Измеряемая среда — азотная кислота с концентрацией до 60% и другие жидкости с вязкостью до 10 сП. Давление атмосферное. Плотность среды $900\text{—}1800 \text{ кг/м}^3$.

Измерение плотности датчиком ДП-1 осуществляется с подливом конденсата в две измерительные полости, в которых установлены пьезометрические трубки. Плотность среды $1000\text{—}1650 \text{ кг/м}^3$. Характеристика среды — цементирующиеся или кристаллизующиеся растворы и пульпы. Давление атмосферное.

Аппаратура типа ПРП предназначена для измерения и регулирования плотности рудной пульпы. Плотность среды $1000\text{—}2000 \text{ кг/м}^3$. Давление атмосферное. Пьезометрические трубки погружаются непосредственно в контролируемую среду на разную глубину с перепадом 50 мм. Перепад давления измеряется датчиком перепада давления. Могут быть подключены вторичный прибор и регулирующее устройство.

Датчик плотности типа ДПП-1 предназначен для измерения плотности жидкостей, не воздействующих на сталь 1Х18Н9Т. Плотность среды $500\text{—}2500 \text{ кг/м}^3$. Давление до 1 МПа. Температура $0\text{—}100 \text{ }^\circ\text{C}$. Выходной сигнал — унифицированный пневматический. В комплект входят датчик плотности, фильтр жидкостный, регулятор давления, задатчик давления, ротаметр, вторичный пневматический прибор, пневматический ПИ-регулятор.

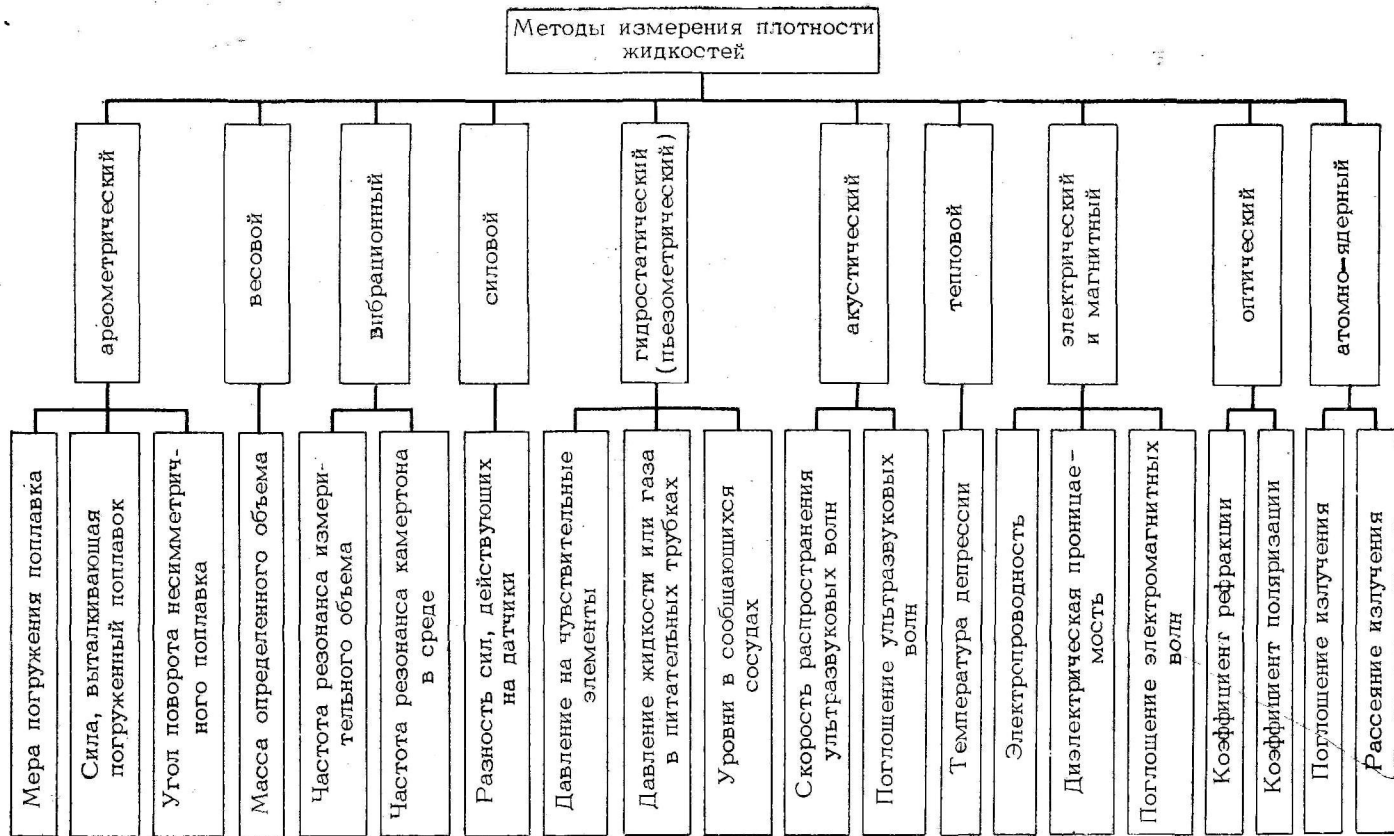


Рис. 8.4. Классификация методов измерения плотности жидкостей

Вибрационные плотномеры основаны на использовании зависимости между параметрами упругих колебаний, сообщаемых трубе (сосуду) с исследуемым веществом или помещенному в них телу, с одной стороны, и плотностью вещества — с другой. Мерой плотности служит амплитуда колебаний при постоянной частоте или частота собственных колебаний резонатора.

Радионуклидные плотномеры являются бесконтактными приборами и могут применяться для измерения плотности агрессивных или весьма вязких жидкостей, когда другие плотномеры практически неприменимы. Мерой плотности может служить ослабление ионизирующего излучения.

8.6. Потенциометрические анализаторы

Потенциометрические анализаторы предназначены для измерения концентрации водородных ионов, а также ионов Na, K, Ag, J, Br, Mg, Cu, NO₃ и других в растворах и пульпах.

Метод потенциометрического измерения концентрации ионов в растворе основан на измерении разности электрических потенциалов двух специальных электродов, помещенных в испытуемый раствор, причем один электрод — вспомогательный — в процессе измерения имеет постоянный потенциал.

Потенциометрический метод наиболее широко применяют для определения активности ионов водорода, характеризующей кислотные или щелочные свойства раствора. Ниже приводятся характеристики некоторых устройств для измерения pH.

Чувствительный элемент погружной типа ДПг-4М предназначен для преобразования pH водных растворов в пропорциональное им электрическое напряжение. Чувствительный элемент работает в комплекте с высокоомными преобразователями типов рН-262, рН-261И, П-261 и т. д.

Давление измеряемой среды не должно превышать 0,6 МПа. При повышенных давлениях к вспомогательному электроду подается давление от стационарных источников, превышающее давление контролируемой среды на 0,06—0,08 МПа.

Изготавливаются 12 модификаций, отличающихся материалами соприкасающихся с контролируемым раствором деталей и глубиной погружения. Чувствительный элемент комплектуется из стеклянных электродов: измерительного и вспомогательного.

Глубина погружения, мм	1200, 1600, 2000
Пределы измерения, pH	0—12, 0—14
Температура контролируемой среды, °С	0—100
Масса, кг	10

Чувствительный элемент магистральный типа ДМ-5М предназначен для преобразования значений pH водных растворов в пропорциональное им электрическое напряжение.

Чувствительный элемент работает в комплекте с высокоомными преобразователями типов рН-262, рН-261И, П-261 и т. д. Датчик выпускается в трех модификациях.

Давление измеряемой среды, МПа, не более	0,6
Пределы измерения, рН	0—12, 0—14
Температура контролируемой среды, °С	0—100
Масса, кг	7

Чувствительный элемент проточный типа ДПр-3С предназначен для преобразования значений рН в водных растворах и пульпах, не содержащих пленок, осадков и плавиковой кислоты, в пропорциональное им значение ЭДС.

Пределы измерения, рН	0—14; от —1 до +12
Температура контролируемой среды, °С	15—70; 25—70
Давление, МПа	До 0,1
Масса, кг	7

рН-метр типа рН-201 предназначен для непрерывного измерения рН воды в системах автоматического контроля водного режима и водоподготовки на блочных электростанциях. Состав комплекта: чувствительный элемент ДМ-5М, преобразователь П-201, вторичный прибор АСК или КСП2.

Пределы измерений, рН	4—14
Выходной сигнал:	
напряжение, мВ	0—100
ток, мА	0—5
Температура измеряемой среды, °С	0—40
Давление измеряемой среды, МПа	До 0,6
Масса, кг:	
чувствительного элемента	7
преобразователя П-201	4

Иономер универсальный типа ЭВ-74 предназначен для измерения активности одно- и двухвалентных анионов и катионов, измерения окислительно-восстановительных потенциалов в водных растворах.

Пределы измерений:	
рХ	От —1 до +19; от —1 до +4; 4—9; 9—14; 14—19
ЭДС, мВ	от ±100 до ±1900; от ±100 до ±400; от ±400 до ±900; от ±900 до ±1400; от ±400 до ±1900 мВ
Масса, кг	15

Анализатор жидкости иономерный типа р11а-201 предназначен для непрерывного измерения и преобразования в унифицированный сигнал концентрации ионов натрия в питательной и химически обессоленной воде и конденсаторе пара котлов высокого давления и турбин.

Пределы измерений:	
рNa	8,36—5,36
мкг/л Na ⁺	0,1—100
рН контролируемого раствора	10,3±0,3
Масса, кг	200

8.7. Приборы для измерения концентрации растворов

Под концентрацией понимают отношение количества определяемого компонента в пробе к общему количеству пробы. Единицы измерения концентрации — мг/см³; г/см³; % по массе; % по объему.

Для измерения концентрации широко применяют кондуктометрические анализаторы или кондуктометры. Принцип действия кондуктометрических анализаторов основан на измерении электропроводности анализируемых растворов контактным или бесконтактным методом на постоянном или переменном токе (промышленной или повышенной частоты).

При однозначной зависимости электропроводности от концентрации кондуктометры могут использоваться для измерения концентрации растворенных веществ в соответствующих единицах.

Концентратомер кондуктометрический типа КК-1 предназначен для измерения, регистрации, сигнализации и регулирования удельной электрической проводимости чистых водных растворов солей, кислот, щелочей.

Пределы измерений, См/см	$1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-3}$
Температура измеряемой среды, °С	1—110
Давление раствора в датчике, МПа	До 0,5
Вязкость среды, Па·с	До 0,1
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	50
Масса, кг	24

Концентратомеры кондуктометрические типов КК-2 и КК-3 предназначены для измерения, регистрации и регулирования удельной электропроводности чистых водных растворов электролитов. Прибор КК-2 с проточным датчиком, КК-3 — с погружным датчиком.

Пределы измерений, См/см	$1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$; $1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2}$; $1 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-1}$
Температура среды, °С	1—100
Давление среды, МПа	До 0,5
Напряжение питания, В	220
Масса, кг	5,4; 4

Концентратомеры кондуктометрические КК-8 (с проточным датчиком) и *КК-9* (с погружным датчиком) предназначены для измерения, регистрации и регулирования удельной электропроводности чистых и загрязненных водных растворов кислот, щелочей и солей.

Пределы измерений, См/см	$1 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-1}$; $1 \cdot 10^{-1} - 1$
Температура среды, °С	1—100
Напряжение питания, В	127/220
Масса датчика, кг	13 и 7,5

Концентратомер потенциометрический типа АПК-01М предназначен для непрерывного автоматического измерения содержания остаточного хлора в питьевой воде.

Пределы измерения, мг/л	0—3
Давление среды, МПа	0,2—1

Водородомер типа АВ-201 предназначен для измерения концентрации растворенного водорода в охлажденном конденсате пара с целью контроля коррозии поверхности котлового агрегата и в системах водоподготовки на тепловых станциях.

Пределы измерений, мкг/кг	0—20; 0—200
Выходной сигнал, мА	0—5
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	20
Масса, кг	12,5

Кондуктометр автоматический типа АК-310 предназначен для непрерывного измерения электрической проводимости питательной и химически обессоленной воды, конденсата турбин и пара в системах автоматического контроля водного режима и водоподготовки на блочных электростанциях.

Пределы измерений, мкСм/см	0—1; 0—10; 0—100
Масса, кг	10

Сигнализатор кондуктометрический типа КС-211 предназначен для определения момента истощения анионитовых фильтров 1-й ступени с выдачей сигнала в систему автоматического управления процессом регенерации фильтров и непрерывного измерения электропроводности фильтра в течение фильтроцикла в системах химводоочистки на блочных электростанциях.

Солемер типа СКМ предназначен для измерения соледержания водных растворов и сигнализации отклонения его от заданного значения в одной или последовательно в каждой из двух, четырех и шести точек теплоэнергетических установок.

Пределы измерений, мг/л	0,1—2; 0,2—4; 0,5—10; 1—20; 2—40; 5—100; 20—400; 50—1000; 200—4000
Температура среды, °С	2—100
Давление среды, МПа	До 10
Напряжение питания, В	127 и 220
Потребляемая мощность, В·А	15

В комплект входят датчик ДСВ и вторичный прибор типа КМ140.

Масса датчика 5,5 и 6,5 кг, соединительного ящика 2; 3,8; 4,2 кг, прибора КМ140 12 кг.

Солемер автоматический регистрирующий типа САР предназначен для измерения, записи и цифровой индикации (в виде цифрпечати) концентрации солей в котловой воде, в системах непрерывной продувки паровых котлов, а также для выдачи унифицированного сигнала постоянного тока 0—5 мА на регулирующее устройство.

Пределы измерений, мг/л	25—250; 100—1000; 250—2500; 1000—10 000
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	50

Индикатор соледержания в паре типа РЭС-106 предназначен для непрерывного автоматического контроля соледержания насыщенного пара паровых котлов тепловых электростанций и других аналогичных энергетических объектов.

Измерение и регистрация соледержания может производиться одновременно в двух точках с помощью одного вторичного прибора.

Пределы измерений, мг/кг	0—4
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	30
Давление насыщенного пара, МПа	До 11
Масса, кг:	
парозаборного устройства	10
дегазационного холодильника	22
датчика	6,6
регистратора	17
вентиля	3

Глава 9

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И РЕГУЛИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

9.1. Общие сведения

Функциональные и регулирующие устройства относят к средствам преобразования, обработки информации о состоянии технологического процесса и выработки команд управления.

Функциональные устройства позволяют осуществить ограничение, дифференцирование, динамическое преобразование, суммирование, умножение, деление, селективное сигналов, сигнализацию и другие операции.

Регулирующие устройства (регуляторы) предназначены для формирования закона регулирующего воздействия на объект (процесс).

Различают стабилизирующие, программные, следящие, самонастраивающиеся регуляторы. В зависимости от характера связи между входной и выходной величинами различают регуляторы непрерывного действия и прерывистого действия (релейные и импульсные), наибольшее распространение получили регуляторы непрерывного действия.

По функциональной зависимости выходной величины от входной (алгоритму) различают регуляторы интегральные И, или астатические; пропорциональные П, или статические; пропорционально-интегральные ПИ, или изодромные; пропорционально-дифференциальные ПД, или статические с предварением, и пропорционально-интегрально-дифференциальные ПИД, или изодромные с предварением.

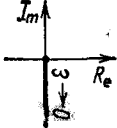
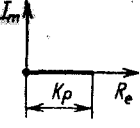
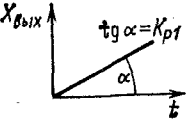
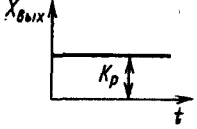
Характеристики регуляторов непрерывного действия приведены в табл. 9.1, где приняты следующие обозначения: K_p — коэффициент передачи регулятора; δ — степень неравномерности ($\delta = 1/K_p$); Δ — зона неоднозначности; T_n — время предварения; δ_f — функция, характеризующая поведение дифференциальной части ПД- и ПИД-регуляторов при воздействии на их вход ступенчатой функции; $T_{1\text{ бал}}$ — $T_{2\text{ бал}}$ — постоянные времена балластного звена реального регулятора; T_n — постоянная времени интегрирования; $x_{\text{вх}}$ — входной сигнал; $x_{\text{вых}}$ — выходной сигнал; t — время, с; ω — угловая частота, 1/с; $i = \sqrt{-1}$.

Передаточная функция реального регулятора

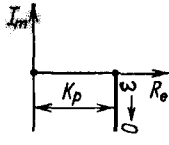
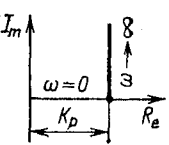
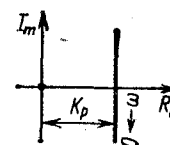
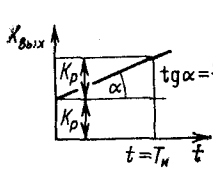
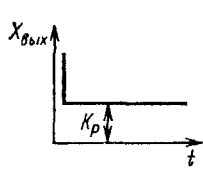
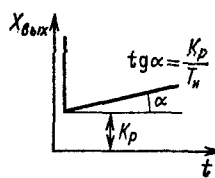
$$W_{p,p}(s) = W_p(s) W_{\text{бал}}(s),$$

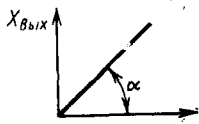
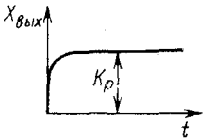
где $W_p(s)$ и $W_{\text{бал}}(s)$ — передаточные функции идеального регулятора и балластного звена; s — оператор Лапласа.

Таблица 9.1. Характеристики регуляторов

Закон регулирования	И. Интегральный, астатический	П. Пропорциональный, статический
Дифференциальное уравнение регулятора	$x_{\text{ВЫХ}} = k_{\text{PI}} \int_0^t x_{\text{ВХ}} dt$	$x_{\text{ВЫХ}} = k_{\text{P}} x_{\text{ВХ}}$
Передаточная функция $W_{\text{P}}(s)$	$\frac{k_{\text{PI}}}{s}$	k_{P}
Частотная характеристика $W_{\text{P}}(i\omega)$	$\frac{k_{\text{PI}}}{i\omega}$	k_{P}
Графическое изображение частотной характеристики		
Переходная характеристика $h(t)$ при единичном возмущении $x_{\text{ВХ}}=1$	$x_{\text{ВЫХ}} = k_{\text{PI}} t$	$x_{\text{ВЫХ}} = k_{\text{P}}$
Графическое изображение переходной характеристики		
Передаточная функция устройства обратной связи $W_{\text{о.с}}(s) \approx \frac{1}{W_{\text{P}}(s)}$	$-$	$\frac{1}{k_{\text{P}}} = \delta$
Передаточная функция балластного звена реального регулятора $W_{\text{бал}}(s)$	$-$	$\frac{1}{T_{\text{бал}} s + 1}$

непрерывного действия

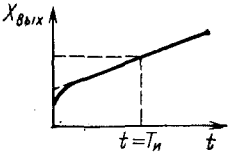
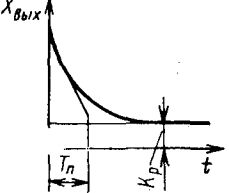
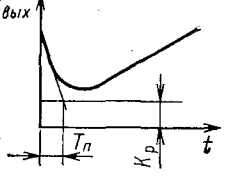
ПИ. Пропорционально-интегральный, изодромный	ПД. Пропорционально-дифференциальный, статический с предварением	ПИД. Пропорционально-интегрально-дифференциальный, изодромный с предварением
$x_{\text{ВЫХ}} = k_p \left(x_{\text{ВХ}} + \frac{1}{T_{\text{И}}} \int_0^t x_{\text{ВХ}} dt \right)$	$x_{\text{ВЫХ}} = k_p \times \left(x_{\text{ВХ}} + T_{\text{Д}} \frac{dx_{\text{ВХ}}}{dt} \right)$	$x_{\text{ВЫХ}} = k_p \left(x_{\text{ВХ}} + \frac{1}{T_{\text{И}}} \int_0^t x_{\text{ВХ}} dt + T_{\text{Д}} \frac{dx_{\text{ВХ}}}{dt} \right)$
$\frac{k_p (T_{\text{И}} s + 1)}{T_{\text{И}} s}$	$k_p (1 + T_{\text{Д}} s)$	$k_p \frac{T_{\text{Д}} T_{\text{И}} s^2 + T_{\text{И}} s + 1}{T_{\text{И}} s}$
$k_p \frac{T_{\text{И}} \omega i + 1}{T_{\text{И}} \omega i}$	$k_p (1 + T_{\text{Д}} \omega i)$	$k_p \left(\frac{1 - T_{\text{Д}} T_{\text{И}} \omega^2}{T_{\text{И}} \omega i} + 1 \right)$
		
$x_{\text{ВЫХ}} = k_p \times \left(1 + \frac{t}{T_{\text{И}}} \right)$	$x_{\text{ВЫХ}} = k_p [1 + T_{\text{Д}} \delta \phi(t)]$	$x_{\text{ВЫХ}} = k_p \left[1 + \frac{t}{T_{\text{И}}} + T_{\text{Д}} \delta \phi(t) \right]$
		
$\frac{\delta T_{\text{И}} s}{T_{\text{И}} s + 1}$	$\frac{\delta}{T_{\text{Д}} s + 1}$	$\frac{\delta T_{\text{И}} s}{T_{\text{Д}} T_{\text{И}} s^2 + T_{\text{И}} s + 1}$
$\frac{k_{\text{бал}}}{T_{2\text{бал}} s + 1}$	$\frac{k_{\text{бал}}}{T_{3\text{бал}} s + 1}$	$\frac{k_{\text{бал}}}{T_{1\text{бал}}^2 s^2 + T_{3\text{бал}} s + 1}$

Закон регулирования	И. Интегральный, астатический	П. Пропорциональный, статический
Графическое изображение переходной характеристики реального регулятора		
Настроечные параметры регуляторов	k_{PI}, Δ	$k_P(\delta), \Delta$

Настроечными параметрами регуляторов непрерывного действия являются Δ , $K_P(\delta)$, T_I , T_D . Формулы для определения значений параметров настройки регуляторов приведены в табл. 9.2, где типы переходных процессов обозначены: 1 — аperiodический с минимальным временем регулирования; 2 — процесс с 20%-ным перерегулированием; 3 — процесс с минимальной квадратической площадью отклонения.

Таблица 9.2. Значения параметров настройки регуляторов

Тип регулятора	Тип переходного процесса		
	1	2	3
И	$K_P = \frac{1}{4,5K_0 T_0}$	$K_P = \frac{1}{1,7K_0 T_0}$	$K_P = \frac{1}{1,1K_0 T_0}$
П	$K_P = \frac{0,3T_0}{K_0 \tau}$	$K_P = \frac{0,7T_0}{K_0 \tau}$	$K_P = \frac{0,9T_0}{K_0 \tau}$
ПИ	$K_P = \frac{0,6T_0}{K_0 \tau}$ $T_I = 0,8\tau + 0,5T_0$	$K_P = \frac{0,7T_0}{K_0 \tau}$ $T_I = \tau + 0,3T_0$	$K_P = \frac{T_0}{K_0 \tau}$ $T_I = \tau + 0,35T_0$
ПИД	$K_P = \frac{0,95T_0}{K_0 \tau}$ $T_I = 2,4\tau$ $T_D = 0,4\tau$	$K_P = \frac{1,2T_0}{K_0 \tau}$ $T_I = 2,0\tau$ $T_D = 0,4\tau$	$K_P = \frac{1,4T_0}{K_0 \tau}$ $T_I = 1,36\tau$ $T_D = 0,5\tau$

ПИ. Пропорционально-интегральный, изодромный	ПД. Пропорционально-дифференциальный, статический с предварием	ПИД. Пропорционально-интегрально-дифференциальный, изодромный с предварием
		
$k_p(\delta), T_{и}, \Delta$	$k_p(\delta), T_{п}, \Delta$	$k_p(\delta), T_{и}, T_{п}, \Delta$

Коэффициент усиления объекта, постоянная времени объекта и запаздывание обозначены соответственно K_0, T_0, τ .

В настоящее время выпускаются следующие комплексы функциональных и регулирующих электрических устройств: РП2, КП2, «Каскад», АКЭСР и пневматических — комплекс «Старт» и «Центр».

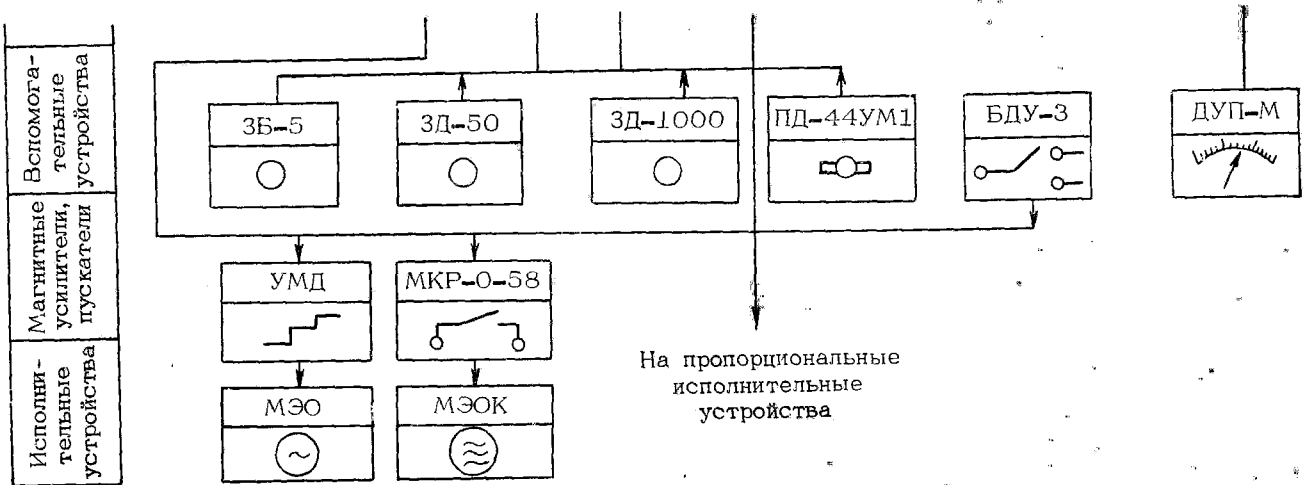
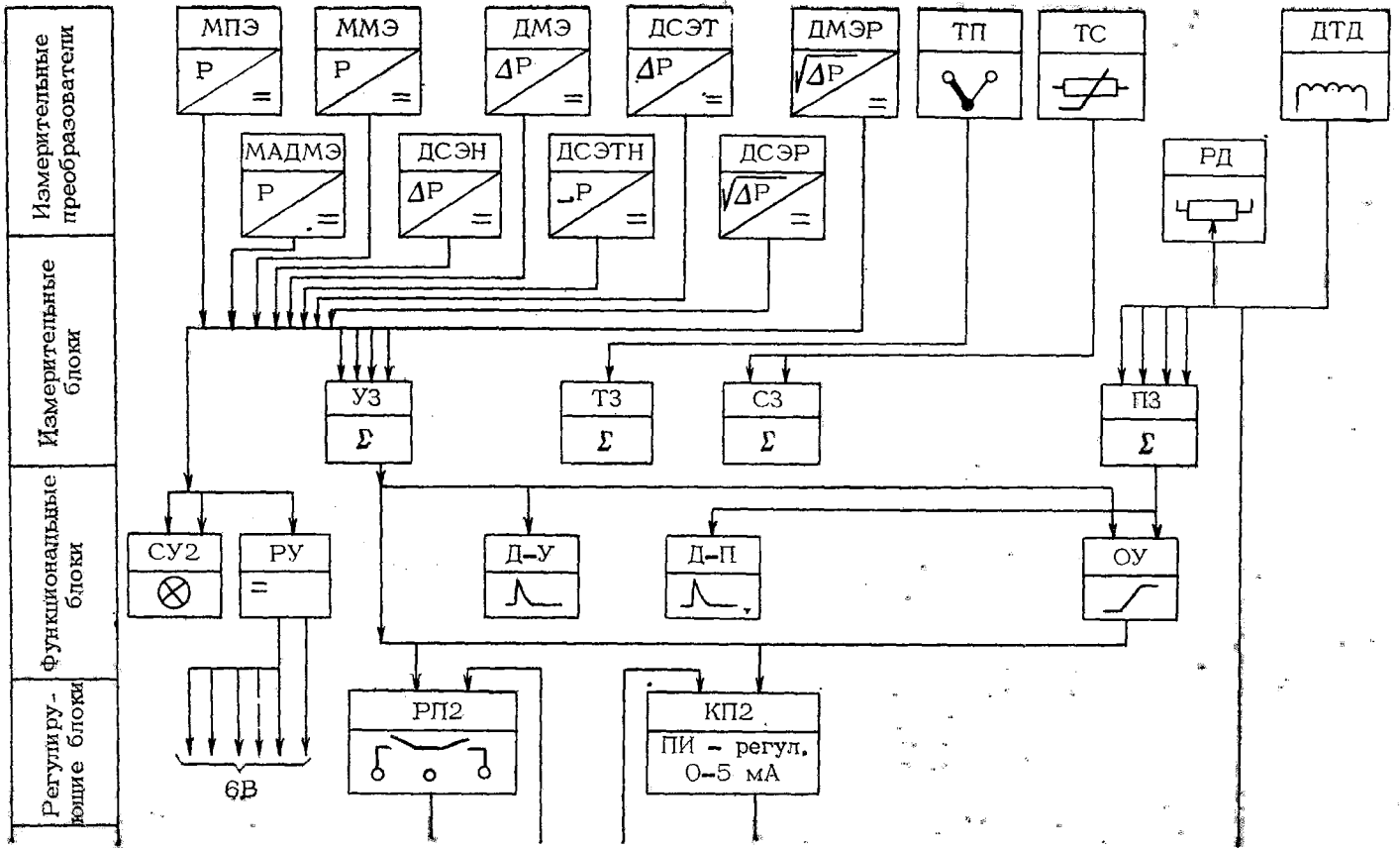
Первыми по времени выпуска являются устройства РП2 и КП2 (рис. 9.1). Они имеют небольшой набор выполняемых функций, невысокие метрологические характеристики и большую площадь передней панели приборов.

Функциональные устройства комплекса «Каскад» (рис. 9.2) дополнительно к функциям, выполнявшимся устройствами РП2 и КП2, реализуют функции: перемножение и деление аналоговых сигналов, извлечение корня, логические операции, аналоговое П- и ПИД-регулирование, безударное включение аналогового регулятора. Улучшились технические характеристики устройств. Погрешность статических преобразователей информации не превышает $\pm 1,0\%$. Динамические параметры устанавливаются с точностью $\pm(20-30)\%$. В качестве информационного сигнала принят унифицированный токовый сигнал 0—5 мА. Элементная база устройств комплекса «Каскад» (транзисторные, тиристорные и магнитные усилители) позволила сократить габариты передней панели приборов.

Комплекс «Каскад» включает около 20 регулирующих и функциональных устройств. Устройства комплекса могут применяться в контурах управления, включающих ЭВМ. В настоящее время комплекс пополняется блоками в микроэлектронном исполнении.

Агрегатный комплекс электрических средств регулирования АКЭСР (рис. 9.3) выполнен на основе интегральных микросхем. В устройствах комплекса АКЭСР единицей агрегатирования является не функциональный блок, а функциональный модуль, который, не являясь законченным устройством, реализует одну из типовых функций: демпфирование, дифференцирование и т. д. Всего в АКЭСР имеется 10 типов модулей.

Применение микросхем позволило уменьшить габариты устройств и создать многофункциональные блоки. Улучшены технические характеристики устройств.



Условные обозначения:

- | | | |
|--|------------------------------|---------------------------------|
| суммирование | термометр сопротивления | программный задатчик |
| дифференцирование | указатель положения | ручное дистанционное управление |
| преобразование давления, перепада давлений, расхода в унифицированный токовый сигнал | сигнализатор | трехпозиционное управление |
| термопара | релейный трехпроводный выход | ограничение сигнала |
| | ручной задатчик | |

Рис. 9.1. Структура комплекса РП2

Рис. 9.2. Структура комплекса «Каскад»

Погрешность отдельных статических преобразователей не превышает $\pm 0,5\%$. Входным сигналом блоков первичной обработки информации является унифицированный токовый сигнал (0—5, 0—20, 4—20 мА). Внутри многофункциональной системы используется сигнал напряжения постоянного тока с диапазоном изменения от 0 до 10 В.

Пневматические комплексы не находят такого широкого применения, как электрические. Однако для некоторых классов локальных информационно-управляющих систем пневматические устройства остаются одними из основных технических средств, наиболее широкое применение в промышленности находит комплекс «Старт» (рис. 9.4). Регулирующие устройства комплекса позволяют



Рис. 9.4. Структура комплекса «Старт»

реализовать практически все законы регулирования, а функциональные устройства — реализовать функции дифференцирования, алгебраического суммирования, извлечения корня и др.

9.2. Функциональные устройства электрические

Наименования и типы электрических функциональных устройств приведены в табл. 9.3, основные технические характеристики — в табл. 9.4.

Функциональные устройства типов Н02, Д01, Д03, ЗУ05, ЗУ11, А04, И04, А31, А32, А33 входят в состав системы «Каскад».

Функциональные устройства типов БКР1, БКР2, БКР3, БНП, БВО, БСЛ, БСГ, БДП, БПИ, БПГ входят в состав агрегатного комплекса электрических средств регулирования в микроэлектронном исполнении (АКЭСР).

Таблица 9.3. Типы электрических функциональных устройств

Наименование	Тип	Вход	Выход
Блок ограничения	H02	0—5 мА; 0—20 мА	0—5 мА
Блок дифференцирования	Д01	0—5; 0—20 мА; 0—1,25 В	От —5 до +5 мА
Блок преобразования динамический	Д03	0—5 мА	0—5 мА или от —5 до 0 и до +5 мА
Задающее устройство	ЗУ05	Угол поворота 0—275°	0—5 мА
Задающее устройство	ЗУ11-1	То же	22 Ом
То же	ЗУ11-2	»	47 Ом
	ЗУ11-3	»	2×47 Ом
	ЗУ11-4	»	22 Ом
	ЗУ11-5	»	1500 Ом
Устройство защитное	ВО1	—	—
Блок измерительный	ИО4	0—5; 0—5 мА; 0—5; 0—5 мА; Задатчик 2,2 кОм	0—2,5 В
Блок суммирования	АО4	0—5; 0—5 мА; 0—5; 0—5 мА	0—5 мА
Блок умножения	А31	0—5; 0—5 мА	0—5 мА
Блок деления	А32	0—5; 0—5 мА	0—5 мА
Блок извлечения корня	А33	0—5 мА	0—5 мА
Сигнализатор	С2	0—5 мА	Двух-, трехпозиционный 0—5 мА
Задатчик программный	ПД-44УМ1	Программный диск	0—5 мА
Преобразователь аналого-релейный	Л02	0—5; 0—5 мА; 0—2,5 В	Переключение контактов реле; 24 В
Импульсатор	Р33	0—5; 0—5 мА	Импульсы 24 В
Командный электропневматический прибор	КЭП-16	Команда по каналу	Электрические цепи Пневматические каналы
Прибор сравнения частотных сигналов многоканальный	ПМСС1	4—8 кГц	Реле РЭС-22
То же	ПМСС2	4—8 кГц	Реле РЭС-43
Блок кондуктивного разделения и суммирования	БКР1	0—5; 0—20 мА; 4—20; 0±10 В	0—5; 0—20 мА 4—20; 0±10 В
Блок кондуктивного разделения двухканальный	БКР2	0—5; 0—20 мА; 4—20; 0—10 В; 0±10 В	0—10; 0±10 В
Блок кондуктивного разделения с двухпредельной сигнализацией	БКР3	0—5; 0—20 мА; 4—20 мА; 0—10 В; 0±10 В	0—10; 0±10 В; «0», «1»
Блок нелинейных преобразований	БНП	0—10 В; 0±10 В	0±10 В
Блок нелинейных преобразований	БНП-04	0—5; 0—20 мА; 0—10 В	0—5; 0—20 мА; 0—10 В
Блок вычислительных операций	БВО	0±10 В	0±10 В
Блок селектирования	БСЛ	0±10 В	0—10; 0±10 В

Наименование	Тип	Вход	Выход
Блок сравнения	БСЛ-04	0—5 мА	0—5 мА
Блок сигнализации	БСГ	0±10 В	0±10 В
Блок динамических преобразований	БДП	0±10 В	0±10 В
Блок прецизионного интегрирования	БПИ	0±10 В	0—5; 0—20 мА;
Блок питания групповой	БПГ	380/220 В	4—20; 0—10 В ±10; ±24 В (24 В переменное)

Таблица 9.4. Основные технические характеристики электрических функциональных устройств

Тип	Габарит, мм	Масса, кг	Потребляемая мощность, В·А	Вероятность безотказной работы за 2000 ч
ИО2	160×80×508	5	8	0,96
Д01	160×80×508	6	8	0,96
Д03	160×80×508	7	8	—
ЗУ05	80×60×180	1	5	0,99
ЗУ11	40×60×135	0,2	1,5	—
ВО1	23,5×14×17	0,1	—	—
ИО4	160×80×508	6	8	0,94
АО4	160×80×508	6	8	0,94
АЗ1	160×80×508	5	8	0,96
АЗ2	160×80×508	5	8	0,96
АЗ3	160×80×508	5	8	0,96
С2	160×120×424	8	30	—
ПД-44УМ-1	175×200×293	6	7	0,92
ЛО2	160×80×508	7	10	—
РЗ3	160×80×508	7	10	—
КЭП-16	655×550×290	35	40	0,85
ПМСС1	300×240×220	10	16	0,94
ПМСС2	300×240×220	10	20	0,94
БКР1-П	80×160×537	6	18	0,97
БКР1-Ш	160×60×180	2,5	4,5	0,99
БКР2-П	80×160×537	6,5	21	0,98
БКР2-Ш	60×160×180	3,0	9	0,99
БКР3-П	80×160×537	6	18	0,97
БКР3-Ш	60×160×180	2,5	7	0,99
БНП-П	30×170×537	6	16	0,97
БНП-Ш	60×160×180	2,5	5	0,99
БНП-04	30×170×537	5,5	18	0,95
БВО-П	80×160×537	6	1,5	0,98
БВО-Ш	160×60×180	2,5	7	0,99
БСЛ-П	80×160×537	6,5	14	0,98
БСЛ-Ш	60×160×180	2,5	6	0,97
БСЛ-04	80×160×537	6,5	25	0,95
БСГ-П	80×160×537	5,5	20	0,97
БСГ-Ш	160×60×180	1,3	7	0,97
БДП-П	80×160×537	5,7	30	0,94
БДП-Ш	160×60×180	2,5	15	0,94
БПИ-П	80×160×537	5,7	30	0,94
БПИ-Ш	160×60×180	2,5	15	0,94
БПГ	160×100×180	4	100	0,97

Блок ограничения типа Н02 применяется для пропорционального преобразования входного сигнала в выходной сигнал постоянного тока и ограничения выходного сигнала по максимуму и минимуму. Коэффициент пропорциональности на линейном участке 1. Ограничения по минимуму 0—5 мА, ограничения по максимуму 1—5 мА. Функциональная схема блока приведена на рис. 9.5.

Блок дифференцирования типа Д01 применяется в качестве устройства, обеспечивающего формирование выходного сигнала, характеризующего скорость изменения входного сигнала. Коэффициент усиления 0,05—10. Постоянная времени демпфирования 0—10 с. Функциональная схема блока приведена на рис. 9.6.

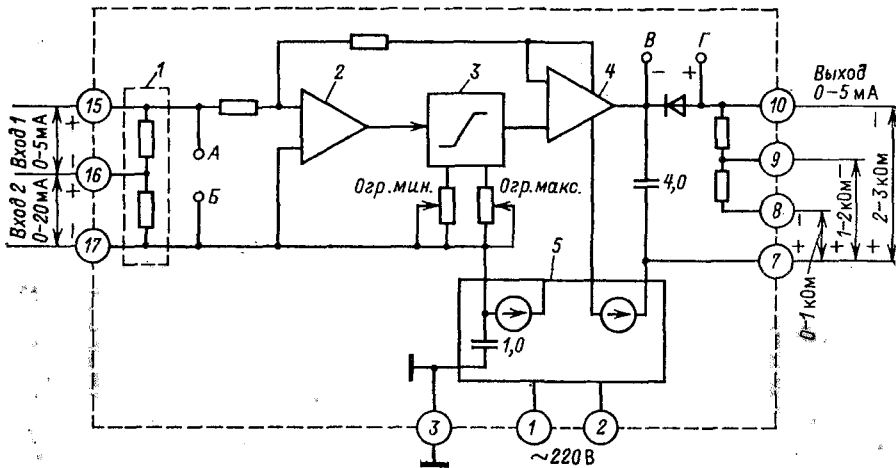


Рис. 9.5. Функциональная схема блока Н02:

1 — измерительная цепь; 2, 4 — операционные усилители; 3 — узел ограничения; 5 — источник питания

Блок преобразования динамический типа Д03 применяется в качестве устройства, обеспечивающего формирование реального и идеального дифференцирующего, интегрирующего, аperiodического и пропорционального звеньев, демпфирование входного сигнала по максимуму и минимуму. Постоянная времени $T=3\div 310$ с, постоянная времени демпфера 0—19 с.

Задающее устройство с токовым выходом типа ЗУ05 применяется в качестве ручного токового задатчика.

Устройство задающее потенциометрическое типа ЗУ11 применяется в качестве элемента, обеспечивающего изменение заданного значения регулируемого параметра.

Устройство защитное типа В01 применяется для защиты токовой цепи от обрыва линии при отключении отдельных потребителей.

Блок измерительный для токовых сигналов типа И04 применяется в качестве устройства, обеспечивающего алгебраическое суммирование с независимым масштабированием четырех токовых сигналов, а также формирование сигнала задания и сигнала рассогласования. Коэффициент передачи по любому входу

0—500 мВ/мА. Полярность входных токовых сигналов любая. Полярность выхода любая в соответствии со знаком суммы. Функциональная схема блока приведена на рис. 9.7.

Блок суммирования токовых сигналов типа А04 применяется в качестве устройства, обеспечивающего алгебраическое суммирование четырех токовых сигналов с независимым масштабированием. Коэффициент пропорциональности по каждому каналу дискретно 0—0,9 с шагом 0,1; плавно — 0,1. Величина дискретного смещения выходного сигнала 2,5 мА. Функциональная схема блока приведена на рис. 9.8.

Блок умножения типа А31 применяется в качестве вычислительного или корректирующего устройства, формирующего выходной сигнал, пропорциональный

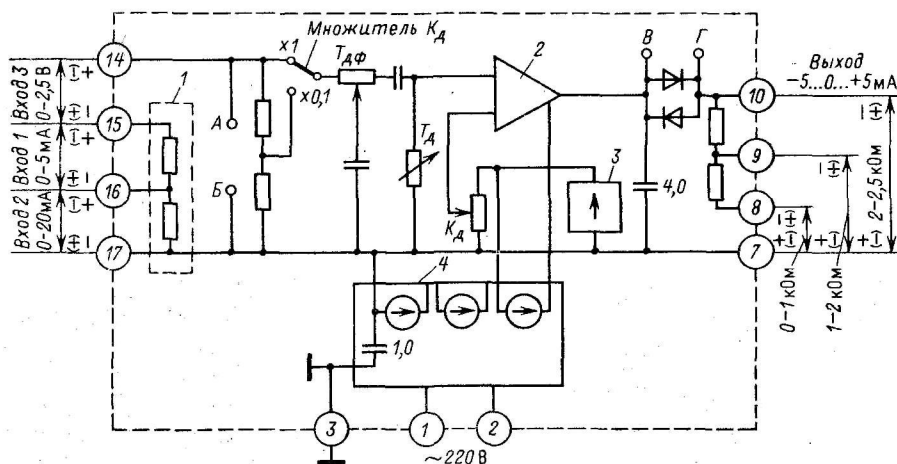


Рис. 9.6. Функциональная схема блока ДО1:

1 — измерительная цепь; 2 — операционный усилитель; 3 — источник смещения; 4 — источник питания

произведению двух входных сигналов. Функциональная схема блока приведена на рис. 9.9.

Блок деления типа А32 применяется в качестве вычислительного или корректирующего устройства, формирующего выходной сигнал, равный отношению двух токовых сигналов. Функциональная схема блока приведена на рис. 9.10.

Блок извлечения корня типа А33 применяется в качестве вычислительного или корректирующего устройства, формирующего выходной сигнал, пропорциональный корню квадратному из входного сигнала.

Сигнализатор типа С2 предназначен для сигнализации об отключении контролируемого параметра, представленного унифицированным сигналом постоянного тока. Может выполнять функции бесконтактного и контактного двухпозиционного или трехпозиционного регулятора.

Задатчик программный типа ПД-44УМ-1 предназначен для выдачи сигнала 0—5 мА постоянного тока, изменяющегося по времени согласно программе, заданной конфигурацией программного диска. Диапазон изменения радиусов про-

граммного диска 15—65 мм. Скорость вращения программного диска 1, 2, 3 и 100 об/сут. Угол подъема профиля диска не более 67°.

Преобразователь аналого-релейный типа ЛО2 применяется в качестве логического устройства, обеспечивающего преобразование аналоговых сигналов постоянного тока в дискретный сигнал, соответствующий переключению контактов электромагнитного реле, либо в дискретный сигнал напряжения постоянного тока. Постоянная времени демпфирования 0—19 с.

Импульсатор типа Р33 применяется в качестве устройства, обеспечивающего преобразование аналоговых сигналов постоянного тока в последовательность

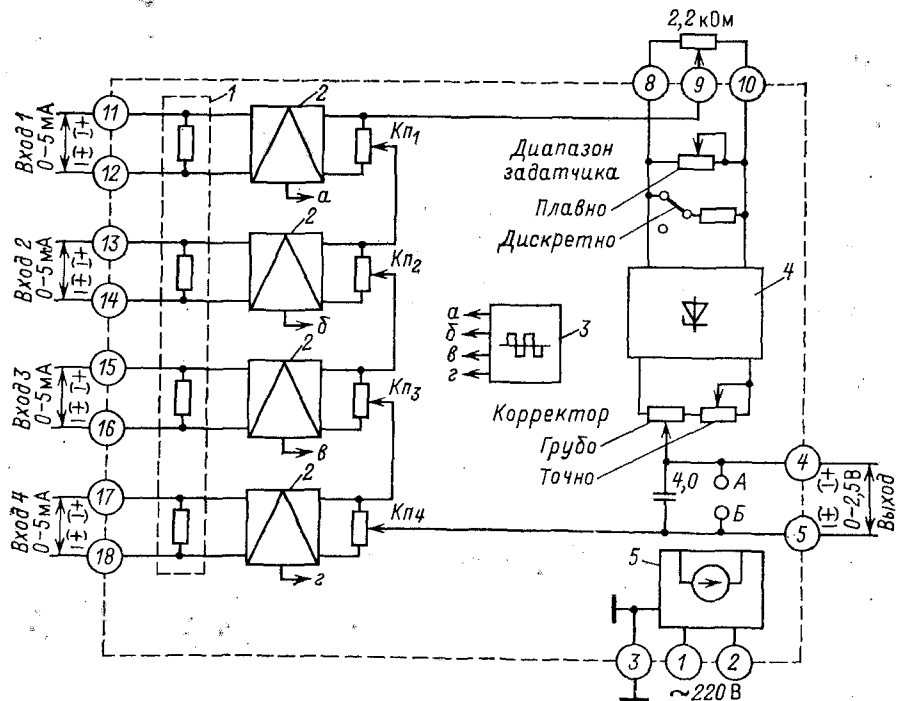


Рис. 9.7. Функциональная схема блока ИО1:

1 — измерительная цепь; 2 — узел гальванического разделения; 3 — генератор; 4 — стабилизатор; 5 — источник питания

импульсов напряжения постоянного тока, скважность которых пропорциональна входному сигналу. Коэффициент пропорциональности 0,25—2. Длительность включений при скважности 0,5, 0,2—25 с.

Командный электропневматический прибор типа КЭП-16 предназначен для регулирования во времени последовательности и продолжительности различных операций технологических процессов путем подачи пневматических и электрических сигналов по заданной циклограмме. Количество команд по каждому каналу 20. Общее количество пневматических каналов и электрических цепей 16, из них для коммутации внешних исполнительных цепей 12, для коммутации внутренних цепей прибора 4. Продолжительность цикла прибора максимальная 1, 2,

3, 6 ч, минимальная — 90 с. Максимальное число одновременных команд: на включение 4, на выключение 2.

Прибор сравнения частотных сигналов многоканальный типа ПМСС предназначен для непрерывного сравнения текущего значения параметра, выраженного электрическим частотным сигналом, со значением, задаваемым внешним электрическим частотным сигналом либо задатчиком, и выдачи результатов сравнения в виде дискретного сигнала. Отклонение параметров от установленного значения в сторону увеличения соответствует логической единице, в сторону уменьшения — логическому нулю.

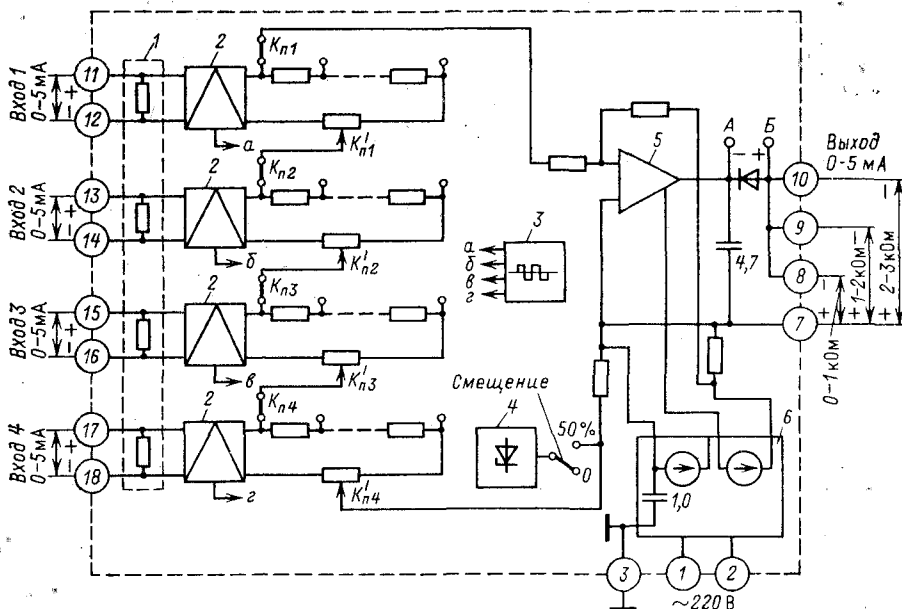


Рис. 9.8. Функциональная схема блока АО4:

1 — измерительная цепь; 2 — узел гальванического разделения; 3 — генератор; 4 — стабилизатор; 5 — операционный усилитель; 6 — источник питания

Блок кондуктивного разделения и суммирования типа БКР1 предназначен для гальванического разделения, алгебраического суммирования, демпфирования или дифференцирования унифицированных сигналов постоянного тока. Блок может быть выполнен в приборном (П) и шкафом (Ш) исполнениях. Входные сигналы 0—5, 0—20, 4—20 мА, 0±10 В. Выходные сигналы 0—5, 0—20, 4—20 мА, 0±10 В. Постоянная времени демпфирования (дифференцирования) 0—24 с.

Блок кондуктивного разделения двухканальный типа БКР2 предназначен для гальванического разделения входных и выходных электрических цепей по двум независимым каналам, демпфирования или дифференцирования. Входные сигналы 0—5, 0—20, 4—20 мА, 0—10, 0±10 В. Выходные сигналы 0—10, 0±10 В. Коэффициенты усиления 1 и 0,5—24. Время демпфирования 0—24 с.

Блок кондуктивного разделения с двухпредельной сигнализацией типа

БКРЗ предназначен для гальванического разделения входных и выходных электрических цепей, демпфирования или дифференцирования и двухпредельной сигнализации с независимой установкой порогов срабатывания. Входные сигналы 0—5, 0—20, 4—20 мА, 0—10 В. Выходные сигналы 0—10 В. Коэффициенты масштабирования 0—1. Коэффициенты усиления 1 и 0,5—24. Время демпфирования 0—24 с.

Блок нелинейных преобразований типа БНП предназначен для получения нелинейной зависимости выходного сигнала от входного и линейной комбинации

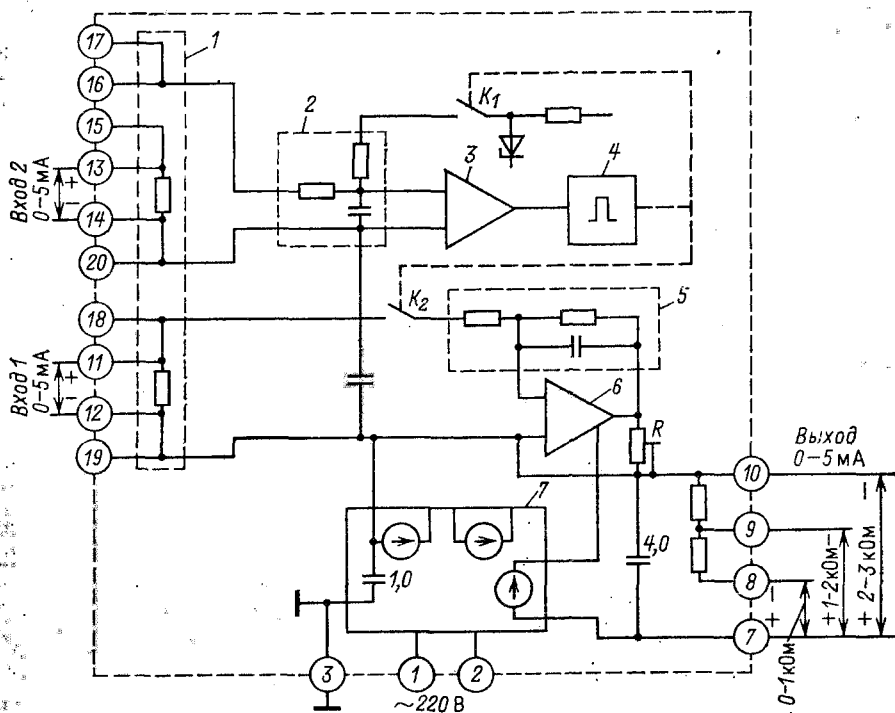


Рис. 9.9. Функциональная схема блока АЗ1:

1 — измерительная цепь; 2, 5 — фильтры нижних частот; 3, 6 — операционные усилители; 4 — частотно-импульсный модулятор; 7 — источник питания

входных сигналов. Входные сигналы 0—10, 0±10 В. Выходные сигналы 0±10 В. Коэффициенты масштабирования 0—1. Коэффициенты усиления 0,5; 1; 5.

Блок нелинейных преобразований типа БНП-04 предназначен для кусочно-линейного воспроизведения нелинейных функциональных зависимостей. Входные сигналы 0—5 мА, 0—10 В. Выходные сигналы 0—5 мА, 0—10 В.

Блок вычислительных операций типа БВО предназначен для выполнения операций перемножения, возведения в квадрат, извлечения квадратного корня и алгебраического суммирования аналоговых сигналов. Входные сигналы 0—10,

0 ± 10 В. Выходные сигналы $0-10$, 0 ± 10 В. Коэффициент масштабирования $0-1$. Коэффициенты усиления $0,5$; 1 ; 5 .

Блок селектирования типа БСЛ предназначен для выделения наибольшего (наименьшего) сигнала из четырех (трех) линейных комбинаций входных сигналов, а также кусочно-линейного воспроизведения простейших нелинейных зависимостей (ограничение, зона нечувствительности и др.). Входные сигналы 0 ± 10 В. Выходные сигналы $0-10$, 0 ± 10 В. Коэффициент масштабирования $0-1$. Коэффициенты усиления $0,5-10$.

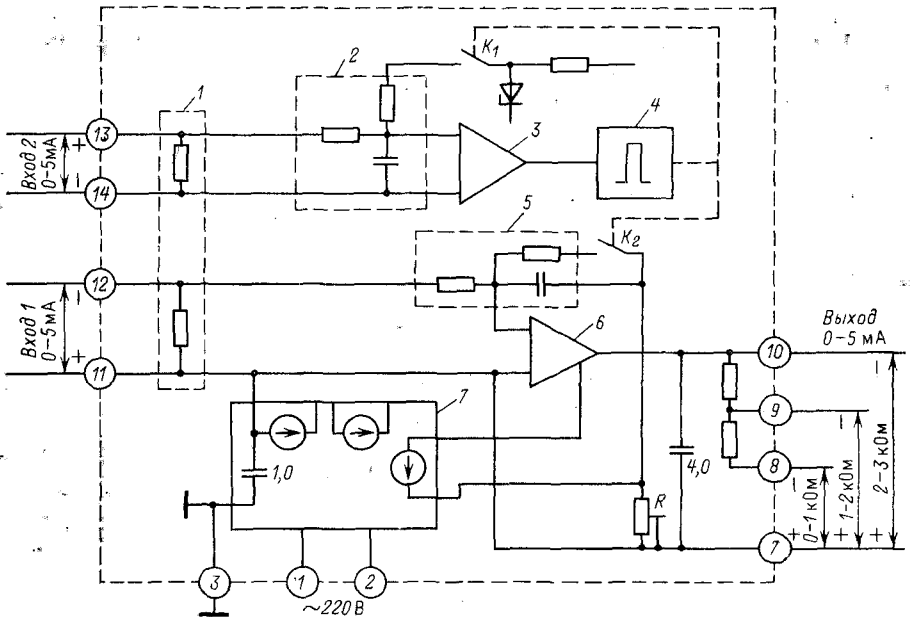


Рис. 9.10. Функциональная схема блока А32:

1 — измерительная цепь; 2, 5 — фильтры нижних частот; 3, 6 — операционные усилители; 4 — частотно-импульсный модулятор; 7 — источник питания

Блок сравнения типа БСЛ-04 предназначен для выделения наибольшего или наименьшего из четырех кондуктивно разделенных токовых сигналов. Входные и выходные сигналы $0-5$ мА. Коэффициенты масштабирования $0-1$. Постоянная времени демпфирования $0-24$ с.

Блок сигнализации типа БСГ предназначен для двухпредельной сигнализации по двум независимым каналам о достижении линейными комбинациями входных сигналов двух независимых установок или двух-трехпозиционного регулирования. Входной сигнал 0 ± 10 В. Выходной сигнал 0 ± 10 В. Коэффициенты масштабирования $0-1$. Коэффициенты усиления $0,5$; 1 ; 5 . Зона возврата $0-5\%$. Время демпфирования $0-24$ с.

Блок динамических преобразований типа БДП предназначен для интегрирования, демпфирования или дифференцирования линейной комбинации входных

сигналов с логическим управлением, двухпредельной сигнализацией и ограничением в системах автоматического контроля и регулирования.

Входные сигналы: аналоговые $0-10$, 0 ± 10 В; логический «0» — вход разомкнут, логическая «1» — вход замкнут на общую шину. Выходные сигналы: аналоговые $0-10$, 0 ± 10 В; логический «0» — контакт реле разомкнут, логическая «1» — контакт реле замкнут. Постоянная времени интегрирования $5-10\ 000$ с. Коэффициенты масштабирования $0-1$. Коэффициент усиления $0,5-1$.

Блок прецизионного интегрирования типа БПИ предназначен для реверсивного интегрирования аналогового или широтно-модулированного импульсного сигнала с возможностью ограничения выходного сигнала или двухпредельной сигнализацией. Входные сигналы $0-10$, 0 ± 10 В. Выходные сигналы $0-10$ В, $0-5$, $0-20$, $4-20$ мА. Коэффициент масштабирования $0-1$. Постоянная времени интегрирования $5-10\ 000$ с. Время полного сброса $0,2$ с.

Блок питания групповой типа БПГ предназначен для питания блоков АКЭСР в шкафом исполнении. Выходное напряжение ± 24 В, ± 10 В, переменное 24 В. Напряжение питания $380/220$ В, частота $50/60$ Гц. Потребляемая мощность не менее 100 В·А.

9.3. Функциональные устройства пневматические

Наименования и типы пневматических функциональных устройств приведены в табл. 9.5, основные технические характеристики — в табл. 9.6.

Прибор алгебраического суммирования типа ПФ1.1 предназначен для осуществления алгебраического сложения трех пневматических сигналов, два из которых со знаком «плюс» и один со знаком «минус».

Прибор умножения на постоянный коэффициент типа ПФ1.9 предназначен для осуществления операции умножения входного параметра на постоянный коэффициент.

Диапазон настройки K от $0,2$ до $0,9$ и от $1,1$ до $5,0$.

Прибор извлечения квадратного корня типа ПФ1.17 предназначен для извлечения квадратного корня из сигнала, поступающего на вход. Давление задатчика $0,06$ МПа.

Устройство множительно-делительное типа ПФ1.18 предназначено для перемножения двух параметров и деления их произведения на третий параметр.

Устройство прямого предварения типа ПФ2.1 предназначено для введения в цепь регулирования какого-либо процесса воздействия по скорости отклонения параметра от заданного значения. Время предварения $0,05-10$ мин.

Устройство обратного предварения типа ПФ3.1 предназначено для замедления ответного воздействия регулятора, вызванного изменением регулируемого параметра, на объект. Время предварения $0,05-10$ мин.

Ускоритель пневматического телесигнала типа ПФ2.5 предназначен для ускорения передачи дискретных пневматических сигналов «1» и «0» от устройства, формирующего данный сигнал, до устройства, воспринимающего его.

Прибор селектирования большего или меньшего сигнала типа ПФ4/5.1 предназначен для выдачи сигнала, равного большему или меньшему из сигналов, поступающих на его вход.

Таблица 9.5. Типы пневматических функциональных устройств

Наименование	Тип	Вход, МПа	Выход, МПа
Прибор алгебраического суммирования	ПФ1.1	+ (0,02—0,1) + (0,02—0,1) — (0,02—0,1)	0,02—0,1 со смещением
Прибор умножения на постоянный коэффициент	ПФ1.9	0,02—0,1	0,02—0,1
Прибор извлечения квадратного корня	ПФ1.17	0,02—0,1	0,02—0,1
Устройство множително-делительное	ПФ1.18	0,02—0,1	0,02—0,1
Устройство прямого предвараения	ПФ2.1	0,02—0,1	0,02—0,1
Ускоритель пневматического телесигнала	ПФ2.5	0—0,01 и 0,11—0,14	0—0,01 и 0,11—0,14
Устройство обратного предвараения	ПФ3.1	0,02—0,1	0,02—0,1
Прибор селектирования большего или меньшего сигнала	ПФ4/5.1	0,02—0,1	0,02—0,1
Прибор ограничения сигналов	ПП11.1	0,02—0,1	0,02—0,1
Устройство многоточечное обгающее	УМО-8	0—0,01 или 0,11—0,14 по каждому каналу	0—0,01 или 0,11—0,14
Устройство многоточечное обгающее	УМО-16	0—0,01 или 0,11—0,14 по каждому каналу	0—0,01 или 0,11—0,14
Устройство вычислительное к хроматографу	УВХ-8	0,02—0,1	0,02—0,1
Задатчик маломощный	П23Д.3	Угол поворота 0—275°	0,02—0,1
Задатчик управления мощный	П23Д.4	То же	0,02—0,1
Пневмоэлектропреобразователь	П1ПР.4	«0» или «1», пневматический сигнал	Напряжение постоянного тока 24 В
Преобразователь электропневматический	П1ПР.5	«0» или «1» (24 В, пост. ток)	«0» или «1», пневматический сигнал
Пневмокнопка	П1КН.3	0,14	То же
Пневмогумблер	П1Т.2	0,14	»
Выключатель конечный	П1ВК.1	Ход штока	»
Индикатор пневматический	ИП-1-1	«0» или «1», пневматический сигнал	Красный, «1»
То же	ИП-1-2	То же	Желтый, «1»

Таблица 9.6. Основные технические характеристики пневматических функциональных устройств

Тип	Габарит, мм	Масса, кг	Расход воздуха, л/мин	Вероятность безотказной работы за 2000 ч
ПФ1.1	85×168×146,5	2,3	5	0,96
ПФ1.9	86×206×191	4,5	10	0,94
ПФ1-17	85×168×146,5	2	6	0,96
ПФ1.18	240×160×440	12	15	0,92
ПФ2.1	85×168×146,5	2,5	3	0,98
ПФ2.5	85×168×146,5	1,7	2,5	0,96
ПФ3.1	85×168×146,5	2,3	1,5	0,98
ПФ4/5.1	85×168×146,5	1,8	3	0,94
ПП11.1	85×168×146,5	1,9	4,5	0,94
УМО-8	320×240×528	27	—	0,96
УМО-16	320×240×528	26	25	0,96
УВХ-8	320×240×478	34	20	0,96
П23Д.3	31×31×52	0,14	—	0,96
П23Д.4	41×41×120	0,35	—	0,94
П1ПР.4	25×28×48	0,07	—	0,98
П1ПР.5	40×40×55	0,25	—	0,96
П1КН.3	25×25×60	0,06	—	0,96
П1Т.2	28×25×60	0,06	—	0,96
П1ВК.1	25×25×35	0,5	—	0,96
ИП-1-1	∅ 24×27	0,015	—	0,94
ИП-1-2	∅ 24×27	0,015	—	0,94

Прибор ограничения сигналов типа ПП11.1 предназначен для ограничения по максимуму или по минимуму пневматического сигнала, поступающего на его вход, в пределах 0,02—0,1 МПа.

Устройство многоточечное обегющее типа УМО-8 предназначено для очередного подключения контролируемых или регулируемых параметров к пневматическому устройству путем выдачи командных сигналов на блок клапанов. Максимальное число каналов обегания 8. Время шага импульса обегания 0,5—5 мин. Время задержки (от шага импульса) 60—70%. Устройство работает с блоком предварения БП-8, исключающим запаздывание сигналов, поступающих с устройства на блок клапанов.

Устройство многоточечное обегющее типа УМО-16. Максимальное число каналов обегания 16. Время шага импульса 0,5—5 мин. Время задержки (от шага импульса) 60—70%. Устройство работает с двумя блоками предварения БП-8.

Устройство вычислительное к хроматографу типа УВХ-8 предназначено для обработки хроматограмм и преобразования их в непрерывные пневматические сигналы, пропорциональные процентному содержанию ключевых компонентов анализируемого продукта. Максимальное количество компонентов анализируемой смеси 8. Максимальное количество ключевых компонентов 3. Максимальное число компонентов с малыми пиками 2.

Задатчик маломощный типа П23Д.3 предназначен для ручной установки и поддержания стабильного пневматического сигнала малой мощности.

Задатчик управления мощный типа П23Д.4 предназначен для установки и поддержания пневматического сигнала задания.

Таблица 9.7. Типы электрических регулирующих устройств

Наименование	Тип	Вход	Выход
Высокоточный регулятор температуры ВРТ-3: Измерительный блок	И-102	Термоэлектрический преобразователь	0—2,5 В
Регулирующий прибор	P-111	0—2,5 В; 0—5 мА	0—5 мА
Тиристорный усилитель	У-252	0—20 мА	0—20 мА
Блок регулирующий релейный	P21	0—5; 0—20 мА	220 В 380 В ±24 В
Блок регулирующий аналоговый	P12	0—5; 0—20 мА	0—5 мА
Регулятор с аналоговым выходом	ПРСУ1	4—8 кГц; 0—10 В	0—2 В
Прибор регулирующий	ПРФУ1	0±1 В, 0—2 В	0—2 В
	P25.1	Дифференциально-трансформаторный	24 В (постоянное); 220 В (переменное); 24 В (постоянное)
	P25.2	0—5, 0—20 мА 0—10 В; термопреобразователь сопротивления	24 В (постоянное); 220 В (переменное)
	P25.3	Термоэлектрический преобразователь; 0—5, 0—20 мА 0—10 В	24 В (постоянное); 220 В (переменное)
Прибор корректирующий	K26.1	Дифференциально-трансформаторный преобразователь	1 контакт; 2 контакта
	K26.3	Термоэлектрический преобразователь; 0—5, 0—20 мА 0—10 В	1 контакт; 2 контакта
	K15.1	Дифференциально-трансформаторный преобразователь	0—5 мА; 0—10 В
	K15.2	Термопреобразователь сопротивления; 0—5, 0—20 мА, 0—10 В	0—5 мА; 0—10 В
	K15.3	Термоэлектрический преобразователь; 0—5, 0—20 мА 0—10 В	0—5 мА; 0—10 В
	K16.1	Дифференциально-трансформаторный преобразователь	0±10 В
	K16.3	Термоэлектрический преобразователь; 0—5, 0—20 мА 0—10 В	0±10 В
Релейный регулирующий прибор	РП2	0—5; 0—20 мА; 0—2,5 В	Импульсы 24 В

Наименование	Тип	Вход	Выход
Корректирующий прибор	РП2-ПЗ	Дифференциально-трансформаторный; ферродинамический	24 В
	РП2-СЗ	Термопреобразователь сопротивления	24 В
	РП2-ТЗ	Термоэлектрический преобразователь	24 В
	РП2-УЗ	0—5 мА	24 В
	КП2	0—5; 0—20 мА; 0—2,5 В; дифференциатор	0—5 мА
	КП2-ПЗ	Дифференциально-трансформаторный; ферродинамический	0—5 мА
	КП2-ТЗ	Термоэлектрический преобразователь	0—5 мА
	КП2-СЗ	Термопреобразователь сопротивления	0—5 мА
Регулятор температуры	КП2-УЗ РТ-049	0—5 мА Термопреобразователь сопротивления	0—5 мА
Программные регулирующие и задающие устройства	РУ5-01М	Реостатный 100%-ный задатчик	Двухпозиционный Позиционное регулирование
Блок регулирующий аналоговый	РУ5-02М	То же и реостат обратной связи ИМ	П; ПИ-закон
	РБА-П	0—5; 0—20; 4—20 мА; 0—10 В	0—10; 0±10 В; 0—5; 0—20; 4—20 мА
	РБА-Ш	0—5; 0—20; 4—20 мА; 0—10 В	0—10; 0±10 В; 0—5; 0—20; 4—20 мА
Блок регулирующий импульсный	РБИ1-П	0—5; 0—20; 4—20 мА; 0—10 В	0±10 В; <0>, <1>; 0±10 В; <0>, <1>;
	РБИ1-Ш	0—5; 0—20; 4—20 мА; 0—10 В	0±10 В; <0>, <1>;
Блок регулирующий импульсный с дискретной автоподстройкой	РБИ2-П	0—5; 0—20; 4—20 мА; 0—10 В	0±10 В; <0>, <1>
	РБИ2-Ш	0—5; 0—20; 4—20 мА; 0—10 В	0±10 В; <0>, <1>
Блок регулирующий с аналоговой автоподстройкой	РБИЗ-П	0—5; 0—20; 4—20 мА; 0—10 В	0±10 В; <0>, <1>
	РБИЗ-Ш	0—5; 0—20; 4—20 мА; 0—10 В	0±10 В; <0>, <1>
Блок регулирующий программный	Р-31М	Термопреобразователь сопротивления	220 В; 1 кВт; 220 В, 150 Вт

Примечание. 1. Регулирующие устройства типов Р12, Р21 входят в состав системы «Каскад».

2. Регулирующие устройства типов РБА, РБИ входят в состав агрегатного комплекса АКЭСР.

Таблица 9.8. Основные технические характеристики электрических регулирующих устройств

Тип	Габарит, мм	Масса, кг	Потребляемая мощность, В·А	Вероятность безотказной работы за 2000 ч
ВРТ-3:				
И-102	80×160×545	8	20	0,9
Р-111	80×160×545	7	15	0,9
У-252	296×139×95 (БУТ-01)	3	15	0,95
	266×240×195	75	—	—
Р21	160×80×508	8	30	0,94
Р12	160×80×508	7	10	0,94
ПРСУ1	260×160×480	15	50	—
ПРФУ1	260×160×480	15	50	—
Р25.1	240×120×285	5	25	—
Р25.2	240×120×285	5	25	—
Р25.3	240×120×285	5	25	—
К26.1	240×120×285	6	—	—
К26.3	240×120×285	6	—	—
К15.1	240×120×285	6	—	—
К15.2	240×120×285	6	20	—
К15.3	240×120×285	6	20	—
К16.1	240×120×285	6	20	—
К16.3	240×120×285	6	—	—
РП2	160×160×424	9,5	50	0,91
РП2-П3	160×160×424	12	80	0,9
РП2-С3	160×160×424	12	50	0,9
РП2-Т3	160×160×424	12	50	0,9
РП2-У3	160×160×424	12	50	0,9
КП2	160×160×424	7	15	—
КП2-П3	160×160×424	10	55	—
КП2-Т3	160×160×424	10	25	—
КП2-С3	160×160×424	10	25	—
КП2-У3	160×160×424	10	25	—
РТ-049	120×120×189	2	5	0,85
РУ5-01М	180×330×411	19,5	60	0,92 (500 ч)
РУ5-02М	180×330×411	19,5	60	0,92 (500 ч)
РБА-II	80×160×537	6	15	0,95
РБА-III	160×60×180	1,5	9	0,95
РБИ1-II	160×80×510	6	15	0,95
РБИ1-III	160×80×180	1,6	10,5	0,95
РБИ2-II	80×160×537	6	15	0,95
РБИ2-III	160×60×180	1,6	10,5	0,95
РБИ3-II	80×160×537	6	15	0,95
РБИ3-III	160×60×180	1,6	15	0,95
Р-31М	160×80×537	8	15	—

Пневмопреобразователь типа ПППР.4 предназначен для преобразования пневматического дискретного сигнала в электрический дискретный сигнал. Выходной сигнал — постоянный ток напряжением 24 В, сила тока — 4 А.

Преобразователь электропневматический типа ПППР.5 предназначен для преобразования дискретного электрического сигнала в дискретный пневматический сигнал. В зависимости от способа подключения давления воздуха питания преобразователь выполняет логическую операцию *Повторение* или *Отрицание*. Входной сигнал — напряжение постоянного тока 24 В, выходной — пневматический, «0» или «1».

Пневмокнопка типа ПКН.3 предназначена для кратковременного ручного коммутирования схем пневмоавтоматики.

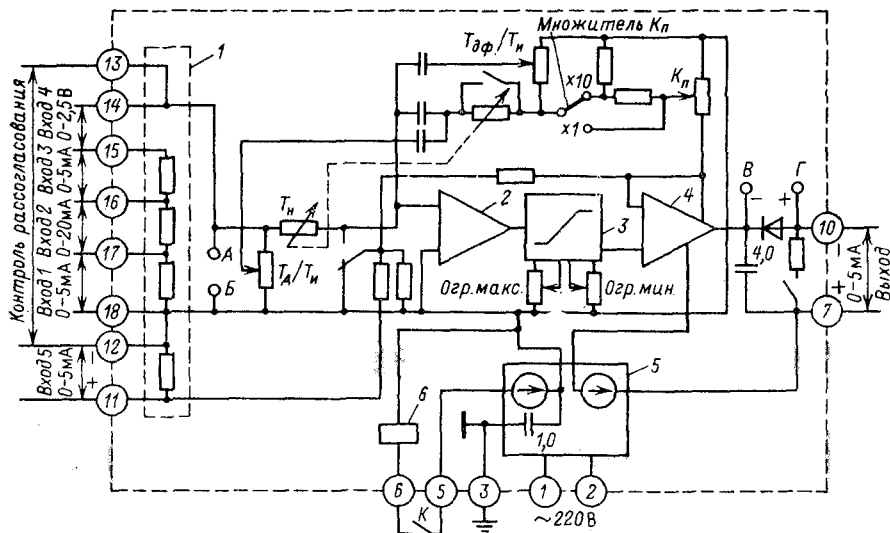


Рис. 9.11. Функциональная схема блока P12:

1 — измерительная цепь; 2 — операционный усилитель; 3 — узел ограничения; 4 — нормирующий усилитель; 5 — источник питания; 6 — реле

Пневмотумблер типа ППТ.2 предназначен для ручной подачи командных сигналов в схемах пневмоавтоматики.

Выключатель конечный типа ПВК.1 предназначен для формирования на выходе пневматического дискретного сигнала при механическом воздействии на шток. Рабочий ход штока 2,5 мм.

Индикатор пневматический типа ИП-1 предназначен для сигнализации наличия давления в устройствах и системах автоматизированного контроля и управления. Цвет индикатора при наличии входного сигнала для ИП-1-1 красный, для ИП-1-2 желтый.

9.4. Регулирующие устройства электрические

Наименования и типы электрических регулирующих устройств приведены в табл. 9.7, основные технические характеристики — в табл. 9.8.

Высокоточный регулятор температуры типа ВРТ-3 предназначен для прецизионного регулирования температуры. Выполняется в виде измерительного блока типа И-102, регулирующего прибора типа Р-111, тиристорного усилителя типа У-252. Диапазон регулируемых температур 0—1600 °С. Точность регулирования $\pm 0,5$ °С. Датчик — термоэлектрический преобразователь ТПП или ТПР. Выходная мощность 1—23 кВт. Законы регулирования П, ПИ, ПД, ПИД.

Регулирующий аналоговый блок типа Р12 применяется в качестве регулирующего устройства, работающего в комплекте с исполнительными механизмами, снабженными позиционерами, или аналоговыми исполнительными усилите-

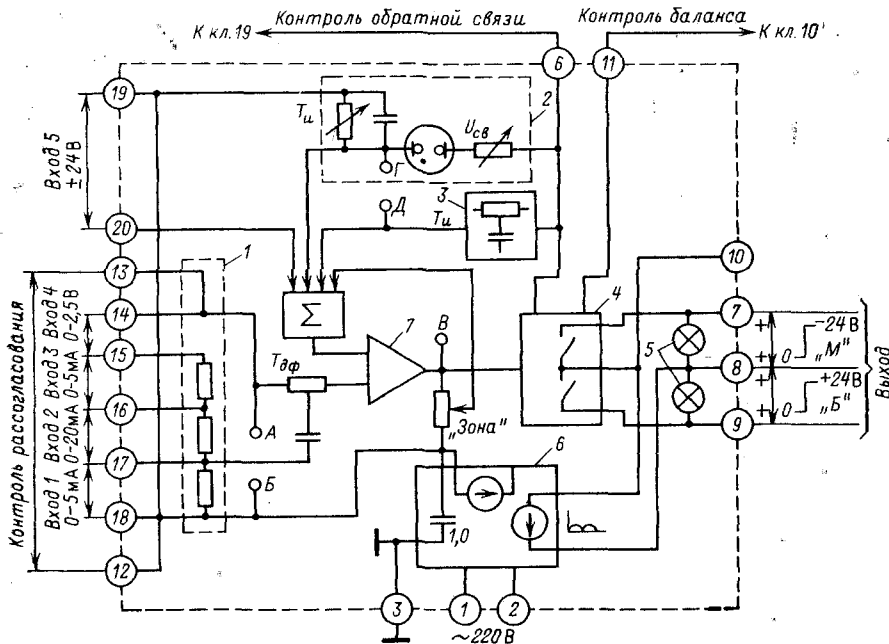


Рис. 9.12. Функциональная схема блока Р21:

1 — измерительная цепь; 2 — главная цепь обратной связи; 3 — дополнительная цепь обратной связи; 4 — трехпозиционный релейный усилитель; 5 — сигнальные лампы; 6 — источник питания; 7 — операционный усилитель

лями. Блок применяется также в качестве корректирующего регулятора. Формирует П-, ПИ-, ПИД-законы регулирования с ограничением выходного сигнала по максимуму и минимуму. Число входов 4. Входные сигналы 0—5, 0—20 мА, $0 \pm 1,25$ В. Выходной сигнал 0—5 мА. Коэффициент пропорциональности 1—100; 0,5—50. Постоянная времени интегрирования 20—2000 с; 5—530 с; 0,5—65 с. Отношение постоянной времени демпфирования к постоянной времени интегрирования 0—0,25; 0—0,5. Ограничение выходного сигнала по максимуму 5—1 мА, по минимуму 0,5 мА.

Функциональная схема блока приведена на рис. 9.11.

Блок регулирующий релейный типа Р21 применяется в качестве регулирующего устройства, работающего в комплекте с электрическими исполнительными

механизмами постоянной скорости, либо в качестве позиционного регулятора. В комплекте с исполнительными механизмами формирует ПИ-закон регулирования. Число входов 5. Входные сигналы 0—5, 0—20 мА, $0 \pm 1,25$, 0 ± 25 В постоянного тока. Выходной сигнал дискретный ± 24 ; ± 2 В при работе на активную нагрузку 80 Ом. Активно-индуктивная нагрузка подключается через согласующую приставку типа В21. Диапазон изменения скорости обратной связи 0,1—2,5%/с.

Постоянная времени демпфирования 0—9 с. Постоянная времени интегрирования 20—2000 с или 5—510 с.

Функциональная схема блока приведена на рис. 9.12.

Регулятор с аналоговым выходом типа ПР (ПРСУ1 и ПРФУ1) предназначен для выработки регулирующего воздействия путем алгебраического суммирования входных сигналов и преобразования их по законам регулирования П, ПИ, И.

Время интегрирования 0,5—2000 с. Коэффициент пропорциональности 0—10 и 0,5—50. Входные сигналы: для ПРСУ1 два частотных (4—8 кГц) и один напряжения постоянного тока 0—10 В; для ПРФУ1 — напряжение переменного тока 0 ± 1 , 0—2 В. Выходные сигналы — напряжение переменного тока 0—2 В, частота 50 Гц.

Прибор регулирующий типов Р25.1, Р25.2 применяется в качестве устройства, обеспечивающего: 1) суммирование сигналов от источников информации, введение сигнала задания, усиление сигнала рассогласования; 2) формирование на выходе электрических импульсов постоянного тока или переменного тока для управления исполнительным механизмом (ИМ) постоянной скорости; 3) формирование совместно с исполнительным механизмом постоянной скорости ПИ-закона регулирования; 4) ручное управление исполнительным механизмом; 5) преобразование сигнала от дифференциально-трансформаторного датчика положения исполнительного механизма в сигнал постоянного тока.

Выходные цепи позволяют управлять различной коммутационной аппаратурой с сигналами 24 В постоянного тока или 220 В переменного тока, а также непосредственно управлять исполнительными механизмами, снабженными двухфазными двигателями.

Р25.1 работает в комплекте с тремя дифференциально-трансформаторными датчиками; Р25.2 — с термопреобразователем сопротивления и датчиком унифицированного сигнала постоянного тока 0—5, 0—20 мА, 0—10 В или с двумя термопреобразователями сопротивления. Коэффициент пропорциональности для времени полного хода исполнительного механизма 63 с от 0,5 до 20. Постоянная времени интегрирования 5—500 с.

Прибор регулирующий типа Р25.3 предназначен для работы в комплекте с термоэлектрическим преобразователем и источником постоянного тока 0—5, 0—20 мА, 0—10 В. Формирует ПИ-закон регулирования. Коэффициент пропорциональности для времени полного хода ИМ 63 от 0,5 до 20. Постоянная времени интегрирования 0,5—500 с. Сигнал корректора 0—100%, сигнал внутреннего задатчика 0—20%.

Прибор корректирующий типа К26.1 обеспечивает суммирование сигналов датчиков, введение сигнала задания, формирование и усиление сигнала рассогласования, преобразование сигнала рассогласования в дискретный выходной сигнал в виде изменения состояния выходных контактов. К прибору может быть подключено 1—3 дифференциально-трансформаторных датчика. Выходной сиг-

нал — изменение состояния контактов на переключение. Количество контактов по первому выходу — 1, по второму выходу — 2. Коммутирующая способность контактов 12—220 В, 0,025—0,2 А постоянного и переменного тока. Сигнал корректора $0 \pm 100\%$, сигнал внутреннего задатчика $0 \pm 20\%$. Порог срабатывания по выходу 2 соответствует сигналу рассогласования, равному нулю. Порог срабатывания по первому выходу 0—100% номинального диапазона изменения входного сигнала. Зона возврата по каждому выходу 0,5—5% входного сигнала.

Прибор корректирующий типа К26.3 выполняет те же функции, что и прибор К26.1. К прибору подключаются термоэлектрический преобразователь и источник постоянного тока 0—5; 0—20 мА, 0—10 В. Сигнал корректора 0—100%. Сигнал внутреннего задатчика 0—20%. Выходные сигналы те же, что и у прибора К26.1.

Прибор корректирующий типа К15.1 обеспечивает суммирование сигналов датчиков, введение сигнала задания, преобразование сигнала рассогласования в выходной непрерывный электрический сигнал по ПИ- или ПИД-законам, безударное переключение режимов управления нагрузкой с автоматического на ручное и обратно. Может быть подключено 1—3 дифференциально-трансформаторных датчика. Выходные сигналы 0—5 мА, 0—10 В постоянного тока. Коэффициент пропорциональности 0,5—50. Постоянная времени интегрирования 5—500 с. Постоянная времени дифференцирования 0—100 с. Сигнал корректора $0 \pm 100\%$.

Прибор корректирующий типа К15.2 отличается от К15.1 видами подключаемых датчиков. Могут быть подключены два термопреобразователя сопротивления или один термопреобразователь сопротивления и один источник постоянного тока 0—5, 0—20 мА, 0—10 В. Выходные сигналы 0—5 мА, 0—10 В постоянного тока. Коэффициент пропорциональности 0,5—50. Постоянная времени интегрирования 5—500 с. Постоянная времени дифференцирования 0—100 с. Сигнал корректора $0 \pm 50\%$. Сигнал внутреннего задатчика $0 \pm 7,5\%$.

Прибор корректирующий типа К15.3 отличается от К15.1 видами подключаемых датчиков. Могут быть подключены термоэлектрический преобразователь и источник постоянного тока 0—5, 0—20 мА, 0—10 В. Выходные сигналы 0—5 мА, 0—10 В постоянного тока. Коэффициент пропорциональности 0,5—50. Постоянная времени интегрирования 5—500 с. Постоянная времени дифференцирования 0—100 с. Сигнал корректора 0—100%. Сигнал внутреннего задатчика 0—20%.

Прибор корректирующий типа К16.1 обеспечивает суммирование сигналов датчиков, введение сигнала задания, преобразование сигнала рассогласования в выходной непрерывный электрический сигнал по пропорциональному (П), интегральному (И), дифференциальному (Д), аperiodическому (А) законам. Могут быть подключены один — три дифференциально-трансформаторных датчика и напряжение ± 24 В постоянного тока от прибора Р25. Выходной сигнал 0 ± 10 В постоянного тока. Коэффициент пропорциональности 1—10. Постоянная времени демпфирования 0—10 с. Постоянная времени интегрирования 0,5—500 с. Сигнал корректора $0 \pm 100\%$. Сигнал внутреннего задатчика $0 \pm 20\%$.

Прибор корректирующий типа К16.3 отличается от К16.1 видами подключаемых датчиков. Могут быть подключены один термоэлектрический преобразователь, источник постоянного тока 0—5, 0—20 мА, 0—10 В и напряжение ± 24 В от прибора Р25. Выходной сигнал 0 ± 10 В постоянного тока. Коэффициент пропорциональности 1—10. Постоянная времени демпфирования 0—10 с. Посто-

янная времени интегрирования 0,5—500 с. Сигнал корректора 0—100%. Сигнал внутреннего задатчика 0—20%.

Релейный регулирующий прибор типа РП2 предназначен для алгебраического суммирования и преобразования входного электрического сигнала в последовательность импульсов, интегрирование которых обеспечивает ПИ-закон регулирования. При подключении внешнего дифференциатора обеспечивается ПИД-закон регулирования. Входные сигналы 0—5, 0—20 мА, 0—2,5 В постоянного тока. Сигнал по входу «Логика» 50 мА постоянного тока. Выходной сигнал — импульсы постоянного тока 24 В. Сопротивление нагрузки 80 Ом. Скорость связи 0,2—2,5%/с.

Релейный регулирующий прибор типа РП2-П3 предназначен для алгебраического суммирования сигналов датчиков переменного напряжения с сигналом задатчика, преобразования и усиления сигнала рассогласования с целью управления через магнитный усилитель электрическим исполнительным механизмом. Прибор позволяет формировать П- и ПИ-законы регулирования, а при использовании дифференциатора — ПД- и ПИД-законы. Число входов 4. Датчики дифференциально-трансформаторные и ферродинамические (на один из входов может быть подан сигнал от индуктивного или реостатного датчика). Постоянная времени интегрирования 2—500 с. Скорость связи 0,2—2,5%/с. Выходное напряжение постоянного тока 24 В.

Релейный регулирующий прибор типа РП2-С3 отличается от РП2-П3 видами подключаемых датчиков. Могут быть подключены два термопреобразователя сопротивления.

Релейный регулирующий прибор типа РП2-Т3 отличается от РП2-П3 видом подключаемого датчика. Может быть подключен один термоэлектрический преобразователь.

Релейный регулирующий прибор типа РП2-У3 отличается от РП2-П3 видами подключаемых датчиков. Число входов 4. Входной сигнал 0—5 мА постоянного тока.

Корректирующий прибор типа КП2 предназначен для алгебраического суммирования сигналов датчиков с сигналом задатчика, демпфирования и преобразования результирующего сигнала в изменяющийся по П- или ПИ-закону регулирования унифицированный выходной сигнал. При подключении внешнего дифференциатора позволяет формировать ПД- и ПИД-законы. Имеет два входа 0—5 мА, два входа 0—20 мА, один вход постоянного напряжения 0—2,5 В, один высокоомный вход для дифференциатора. Выходной сигнал 0—5 мА постоянного тока. Постоянная времени интегрирования 5—500 с.

Корректирующий прибор типа КП2-П3 имеет 4 входа для дифференциально-трансформаторных и ферродинамических датчиков. На один из входов может быть подключен индуктивный датчик. Выходной сигнал 0—5 мА постоянного тока. Постоянная времени интегрирования 5—500 с.

Корректирующий прибор типа КП2-Т3 отличается от КП2-П3 видом подключаемого датчика. Может быть подключен один термоэлектрический преобразователь.

Корректирующий прибор типа КП2-С3 отличается от КП2-П3 видами подключаемых датчиков. Могут быть подключены два термопреобразователя сопротивления.

Корректирующий прибор типа КП2-У3 отличается от КП2-П3 видами подключаемых датчиков. Имеет четыре входа для сигналов 0—5 мА постоянного тока.

Регулятор температуры типа РТ-049 предназначен для двухпозиционного регулирования температуры, сигнализации отклонения температуры от заданного значения. Работает в комплекте с термопреобразователями сопротивления. Пределы регулирования температуры, °С: от —50 до +100, 0—150; 50—200; 100—250. Основная погрешность 1%. Зона возврата 1—10%.

Автоматические электронные программные регулирующие и задающие устройства типа РУ5-01М предназначены для позиционного регулирования различных параметров по заданной программе и работают в комплекте с автоматическими измерительными приборами, имеющими реостатный 100%-ный задатчик, и исполнительными механизмами постоянной скорости.

Устройства РУ5-02М предназначены для обеспечения пропорционального или изотермического регулирования по заданной во времени программе и работают в комплекте с регулирующими и измерительными приборами, имеющими реостатный 100%-ный задатчик, а также с исполнительными механизмами постоянной скорости со встроенным реостатом обратной связи.

Блок регулирующий аналоговый типа РБА предназначен для формирования сигнала рассогласования и динамического преобразования его в соответствии с П-, ПИ- или ПИД-законом регулирования с ограничением выходного сигнала по максимуму и минимуму. Блок может быть выполнен в приборном (П) или шкафом (Ш) исполнении. Входные сигналы 0—5, 0—20, 4—20 мА, 0 ± 10 В. Выходные сигналы 0—5, 0—20, 4—20 мА, 0 ± 10 В, коэффициент пропорциональности 0,3—50 и 1—50. Постоянная времени интегрирования 5—500 или 20—2000 с. Постоянная времени демпфирования 0—10, 0—20 с. Постоянная времени дифференцирования 0—100, 0—400 с. Скорость изменения выходного сигнала при ручном управлении 2%/с.

Блок регулирующий импульсный типа РБИ1 предназначен для формирования П-, ПИ-, ПИД-законов регулирования в системах с исполнительными механизмами постоянной скорости. Входные сигналы 0—5, 0—20, 4—20 мА, 0 ± 10 В. Выходные сигналы 0 ± 10 В. Скорость связи 0,2—2,5%/с. Постоянная времени интегрирования 5—500 или 20—2000 с. Постоянная времени демпфирования 0—20 с. Постоянная времени дифференцирования 0—230 с. Длительность импульса 0,1—1 с.

Блок регулирующий импульсный с дискретной автоподстройкой типа РБИ2 предназначен для формирования ПИ-закона регулирования в автоматических регуляторах, содержащих исполнительные механизмы постоянной скорости, с возможностью дискретного автоматического изменения параметров динамической настройки по внешним командным сигналам. Входные сигналы 0—5, 0—20, 4—20 мА, 0—10, 0 ± 10 В постоянного тока. Выходные сигналы 0 ± 10 В и (для РБИ2-П) 24 В. Коэффициент масштабирования 0—1. Зона нечувствительности 0,2—2%. Постоянная времени демпфирования 0—20 с. Постоянная времени интегрирования 5—500, 20—2000 с. Скорость связи 0,2—2,5%/с.

Блок регулирующий с аналоговой автоподстройкой типа РБИ3 предназначен для формирования ПИ-закона регулирования в регуляторах, содержащих исполнительные механизмы постоянной скорости, с возможностью аналогового автоматического изменения параметров настройки по внешним управляющим сигналам. Входные сигналы 0—5, 0—20, 4—20 мА, 0 ± 10 В. Выходные сигналы

0 ± 10 , 24 В. Коэффициент масштабирования 0—1. Зона нечувствительности 0,2—2%. Постоянная времени демпфирования 0—20 с. Постоянная времени интегрирования 5—500, 20—2000 с. Скорость связи 0,2—2,5%/с. Диапазон аналоговой подстройки скорости не менее 1,5%/с.

Блок *регулирующий программный типа Р-31М* применяется в схемах регулирования температуры по временной программе, задаваемой сменным профилированным лекалом. Работает в комплекте с термопреобразователями сопротивления. Диапазон регулирования температуры, °С: 0—100; 0—200. Выходные сигналы — переменное напряжение 220 В, мощность до 1 кВт; переменное напряжение 220 В, мощность до 150 Вт.

9.5. Регулирующие устройства пневматические

Наименования и типы пневматических регулирующих устройств приведены в табл. 9.9, основные технические характеристики — в табл. 9.10.

Регуляторы пневматические позиционные типов Р-1 и Р-2 предназначены для двухпозиционного регулирования технологических параметров, контролируемых датчиками с пневматическим дискретным выходным сигналом. Регулятор Р-1 работает с одним датчиком, контролирующим заданное значение параметра, с регулированием задержки выходного сигнала от 5 до 80 с. Регулятор Р-2 работает с двумя датчиками, контролирующими верхнее и нижнее значения параметра.

Позиционный регулятор типа ПР1.5 предназначен для двухпозиционного регулирования и может быть использован в качестве сигнализатора для приведения в действие сигнальных устройств.

Регулятор позиционный типа ПР1.6. предназначен для получения дискретных пневматических сигналов «0» или «1» при выходе параметров за пределы установленной зоны возврата.

Пропорциональный регулятор с линейными статическими характеристиками типа ПР2.8 предназначен для стабилизации параметров технологических процессов по П-закону регулирования. Пределы пропорциональности 2—3000%.

Регулятор пропорционально-интегральный с линейными статическими характеристиками типа ПР3.31 предназначен для стабилизации параметров технологических процессов по ПИ-закону регулирования. Пределы пропорциональности 2—3000%, время интегрирования 0,05—100 мин.

Регулятор пропорционально-интегральный с линейными статическими характеристиками с задатчиком типа ПР3.32 предназначен для стабилизации параметров технологических процессов по ПИ-закону регулирования. Пределы пропорциональности 2—3000%, время интегрирования 0,05—100 мин.

Регулятор соотношения пропорционально-интегральный с линейными статическими характеристиками типа ПР3.33 предназначен для поддержания соотношения между двумя параметрами технологических процессов по ПИ-закону регулирования. Диапазон настройки соотношения от 1:1 до 5:1 и от 1:1 до 10:1. Пределы пропорциональности 2—3000%, время интегрирования 0,05—100 мин.

Регулятор соотношения с коррекцией по третьему параметру пропорционально-интегральный с линейными статическими характеристиками типа ПР3.34 предназначен для поддержания соотношения между двумя параметрами технологических процессов с коррекцией соотношения третьим параметром по ПИ-за-

Таблица 9.9. Типы пневматических регулирующих устройств

Наименование	Тип	Вход	Выход
Регулятор пневматический позиционный	P-1	Пневматический, «0» или «1»	Пневматический, «0» или «1»
Регулятор позиционный	P-2	То же	То же
Регулятор позиционный с настраиваемой зоной возврата	ПР1.5 ПР1.6	0,02—0,1 МПа То же	» »
Регулятор пропорциональный	ПР2.8	Пневматический, 0,02—0,1 МПа	Пневматический, 0,02—0,1 МПа
Регулятор пропорционально-интегральный	ПР3.31	То же	То же
Регулятор пропорционально-интегральный с датчиком	ПР3.32	Пневматический, 0,02—0,1 МПа	Пневматический, 0,02—0,1 МПа
Регулятор соотношения пропорционально-интегральный	ПР3.33	То же	То же
Регулятор соотношения с коррекцией по третьему параметру пропорционально-интегральный	ПР3.34	»	»
Регулятор пропорционально-интегрально-дифференциальный	ПР3.35	»	»
Регулятор самонастраивающийся	АРС-2-О	»	»
Регулятор самонастраивающийся шаговый	АРС-2-ОИ	Пневматический, 0,02—0,1 МПа	Пневматический, 0,02—0,1 МПа
Регулятор самонастраивающийся шаговый с недоходом до максимума	АРС-1-ОН	То же	То же

Таблица 9.10. Основные технические характеристики пневматических регулирующих устройств

Тип	Габарит, мм	Масса, кг	Расход воздуха, л/мин	Вероятность безотказной работы за 2000 ч
P-1	180×180×186	5	—	—
P-2	180×180×186	5	—	—
ПР1.5	86×141×158	2,3	3	0,96
ПР1.6	121×232×158	2,9	6	0,92
ПР2.8	121×204×158	2,4	4	0,96
ПР3.31	121×204×158	2,8	5,5	0,96
ПР3.32	121×204×158	3	5,5	0,94
ПР3.33	121×233×203	3,6	7	0,92
ПР3.34	121×233×203	3,9	10	0,92
ПР3.35	121×205×203	3,9	10	0,92
АРС-2-О	320×240×478	21	20	0,96
АРС-2-ОИ	320×240×478	21	20	0,96
АРС-1-ОН	320×240×478	23,5	35	0,96

кону регулирования. Диапазон настройки соотношения от 1:1 до 5:1 и от 1:1 до 10:1, пределы пропорциональности 2—3000%, время интегрирования 0,05—100 мин.

Регулятор пропорционально-интегрально-дифференциальный с линейными статическими характеристиками типа ПР3.35 предназначен для стабилизации параметров технологических процессов по ПИД-закону регулирования. Пределы пропорциональности 2—3000%, время интегрирования 0,05—100 мин, время предварения 0,05—10 мин.

Регулятор самонастраивающийся типа АРС-2-0 предназначен для поддержания оптимального режима работы малонерционных технологических процессов по принципу «запоминания» экстремума (максимума или минимума). Диапазон настройки зоны нечувствительности 1,5—6 кПа. Диапазон настройки давления ограниченный 20—100 кПа. Диапазон настройки скорости поиска 0,2—60 кПа в минуту.

Регулятор самонастраивающийся шаговый типа АРС-2-ОИ предназначен для автоматического поиска и поддержания оптимального режима технологического процесса, обладающего значительной инерционностью. Регулятор работает по принципу шагового поиска экстремума (максимума или минимума) регулируемого параметра и его запоминания. Диапазон настройки зоны нечувствительности 1,5—6 кПа. Диапазон настройки времени шага импульса 1—60 мин. Диапазон настройки длительности периода сравнения 5—60 с. Диапазон установки заданий нижнего и верхнего ограничений 20—100 кПа.

Регулятор самонастраивающийся шаговый с недоходом до максимума типа АРС-1-ОИ предназначен для автоматического поиска и поддержания оптимального режима инерционного технологического процесса, который имеет характеристику со слабо выраженным максимумом или в виде монотонной кривой с убывающим темпом возрастания. Регулятор работает по принципу шагового поиска максимума регулируемого параметра и его запоминания. Диапазон настройки зоны нечувствительности 1-го звена сравнения 1,5—6 кПа, диапазон настройки зоны нечувствительности 2-го звена сравнения 1—6 кПа. Диапазон настройки времени шага импульса 1—60 мин. Диапазон настройки длительности периода сравнения 10—60 с. Диапазон настройки давлений ограниченный 20—100 кПа.

9.6. Вспомогательные устройства к регулирующим устройствам

Блок управления аналогового регулятора типа БУ12 применяется в качестве устройства, обеспечивающего ручное управление нагрузкой регулирующего блока, а также безударное переключение с ручного управления на автоматическое и обратно. Входной и выходной сигналы 0—5 мА. Напряжение питания 220 В. Потребляемая мощность 15 В·А. Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч не менее 0,98. Функциональная схема блока приведена на рис. 9.13.

Блок управления релейного регулятора типа БУ21 применяется в качестве устройства, обеспечивающего ручное управление нагрузкой регулирующего блока, а также безударное переключение с автоматического управления на ручное и обратно. Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч не менее 0,98.

Принципиальная схема блока приведена на рис. 9.14.

Блок согласующих приставок типа В21 применяется в качестве устройства, согласующего выходные цепи релейных регулирующих блоков с активно-индуктивной нагрузкой. Блок содержит три приставки. Масса 6 кг.

Ручной задатчик для регулирующих блоков типа РЗД комплекса АҚЭСР предназначен для ручной установки задания регулирующим или аналоговым ис-

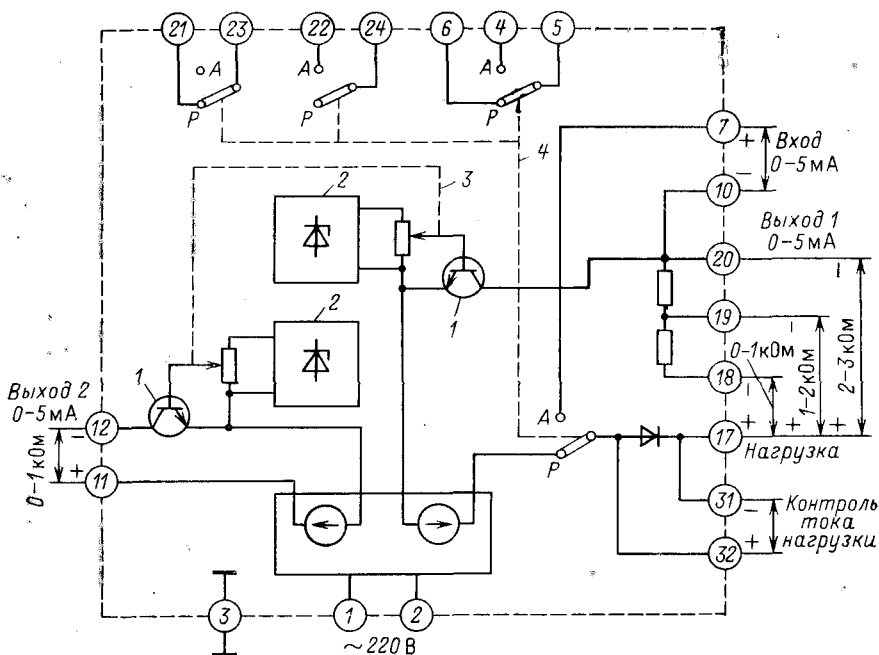


Рис. 9.13. Функциональная схема блока БУ12:
1 — усилитель; 2 — стабилизированный источник напряжения; 3 — потенциометр ручного управления; 4 — переключатель управления

полнительным устройствам. Входной сигнал 0—10 В. Выходные сигналы 0—5, 0—20, 4—20 мА, 0—10 В. Напряжение питания 24 В, 50 Гц. Потребляемая мощность 6 В·А. Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч 0,98. Масса 0,5 кг.

Блок ручного управления типа БРУ комплекса АҚЭСР. БРУ-1К предназначен для ручного или дистанционного переключения цепей управления.

БРУ-2К предназначен для ручного или дистанционного переключения на дистанционный режим управления исполнительными устройствами, кнопочного управления интегрирующими исполнительными устройствами.

БРУ-3К предназначен для ручного или дистанционного переключения с автоматического режима управления исполнительными устройствами на дистанционный и обратно, кнопочного управления интегрирующими исполнительными устройствами.

Напряжение питания 24 В, 50 Гц. Потребляемая мощность 1 В·А. Вероятность безотказной работы в течение 2000 ч 0,98. Масса 0,6 кг.

Блок *ручного управления со встроенным указателем типа БРУ-У комплекса АКЭСР* предназначен для ручного кнопочного трехпозиционного управления исполнительными устройствами или выходными сигналами регулирующих или интегрирующих блоков, а также для переключения (ручного или дистанционно-

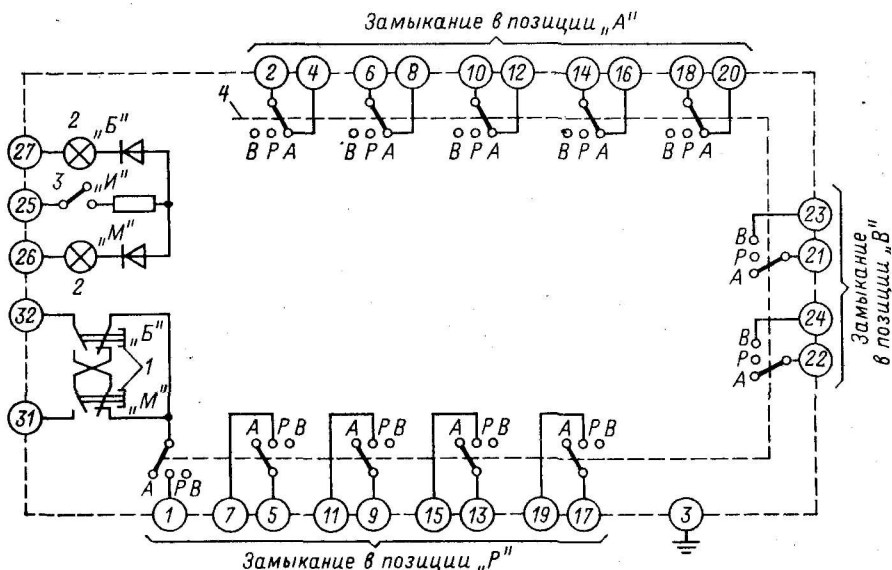


Рис. 9.14. Функциональная схема блока БУ21:

1 — переключатель ручного управления; 2 — индикаторные лампочки; 3 — кнопка вызова индикации; 4 — переключатель управления (автоматическое, ручное)

го) цепей управления на два положения со световой индикацией одного из них, с аналоговой индикацией величины сигнала постоянного тока 0—5 мА. Напряжение питания 24 В, 50 Гц. Выходное напряжение ± 24 В. Масса 0,5 кг.

9.7. Системные модули автоматических систем регулирования на базе комплекса АКЭСР

Независимо от природы объекта управления структуру одноконтурной системы управления, в частности системы регулирования, можно представить в виде четырех систематически воспроизводящихся составных частей — системных модулей. В зависимости от решаемых функциональных задач системные модули объединяются в следующие группы: модулей формирования сигнала задания МФСЗ; модулей формирования информационного сигнала МФИС; модулей формирования сигнала закона регулирования МФЗР; модулей формирования воздействия на управляемый процесс МФВП. Каждый системный модуль реализуется из соответствующих блоков агрегатного комплекса электрических средств регулирования в микроэлектронном исполнении (АКЭСР).

Функциональная схема АСР состоит из квадратов с символическими изображениями функций. Квадраты располагаются по зонам: датчики; функциональ-

ные и регулирующие блоки; блоки оперативного управления; пускатели; исполнительные механизмы. Квадраты соединяются стрелками, указывающими направление информационных и управляющих сигналов. Входные сигналы рекомендуются подводить сверху или слева, выходные — выводить снизу или справа. Аналоговые сигналы показываются сплошной, дискретные — штриховой линией. Функциональная схема АСР определяет выбор технических средств, а в некоторых случаях — выбор типовых решений на базе системных модулей.

Принципиальная схема АСР показывает полный состав элементов и связей между ними и дает детальное представление о принципах работы системы. Все блоки на поле чертежа располагаются в два горизонтальных ряда, причем в верхнем ряду — датчики, нормирующие преобразователи, функциональные и регулирующие блоки, пускатели, в нижнем — блоки оперативного управления, средства представления информации и исполнительные механизмы. Блоки, расположенные на одном конструктиве, обводятся замкнутой линией. При этом на контуре конструктива показываются коммутационные элементы. Блоки изображаются в виде структурной схемы и выводной колодки (для приборного варианта) или штепсельного разъема (для шкафного варианта и блоков оперативного управления).

Для удобства использования введена индексация схем системных модулей и схем АСР.

Индекс любой АСР состоит из четырех групп двузначных чисел. Первое двузначное число — порядковый номер МФСЗ, второе — порядковый номер МФИС, третье — порядковый номер МФЗР, четвертое — порядковый номер МФВП.

Структура индекса системных модулей следующая:

МФСЗ.XX.00.00.00.П или Ш

МФИС.00.XX.00.00.П или Ш

МФЗР.00.00.XX.00.П или Ш

МФВП.00.00.00.XX

Буквы П или Ш после индекса означают приборное или шкафное исполнение блоков.

МФСЗ.01.00.00.00 — ручной задатчик. Сигнал задания формируется задающим устройством.

МФСЗ.02.00.00.00 — импульсный автоматический задатчик (блоки БПИ и БРУ-У).

МФСЗ.03.00.00.00 — ручной и автоматический задатчик с безударным переключением (блоки БПИ, БРУ-У, БРУ-2К, РЗД).

МФСЗ.04.00.00.00 (рис. 9.15) — задатчик соотношения. Сигнал задания формируется как произведение параметра, сформированного датчиком 1 и прошедшего кондуктивный разделитель 2, и коэффициента соотношения К, сформированного задатчиком 4. Произведение формируется в умножителе 3. Функция устройства 2 реализуется блоком кондуктивного разделения типа БКР1, функция устройства 3 — блоком вычислительных операций типа БВО, функция устройства 4 — ручным задатчиком РЗД.

МФСЗ.05.00.00.00 (рис. 9.16) — аналоговый автоматический задатчик. Сигнал задания формируется функциональным элементом 4 (корректирующее устройство на базе вычислительной техники, либо верхний каскад в каскадной схеме регулирования) или ручным задатчиком 1. Источник сигнала задания выбирается переключателем 3, который управляется двухкнопочным элементом 2. Разность сигналов двух задатчиков, имеющаяся в момент переключения,

демпфируется элементом 5, обеспечивая безударный переход. Функция устройства 1 реализуется ручным задатчиком типа РЗД, функции устройств 2, 3 — блоком ручного управления типа БРУ-У, функция устройства 5 — блоком динамических преобразований типа БДП, включенным по схеме аperiодического звена, функция устройства 4 — блоком типа РБА либо УВК.

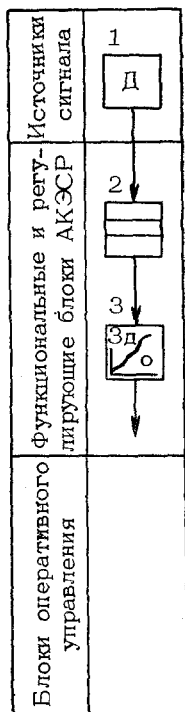
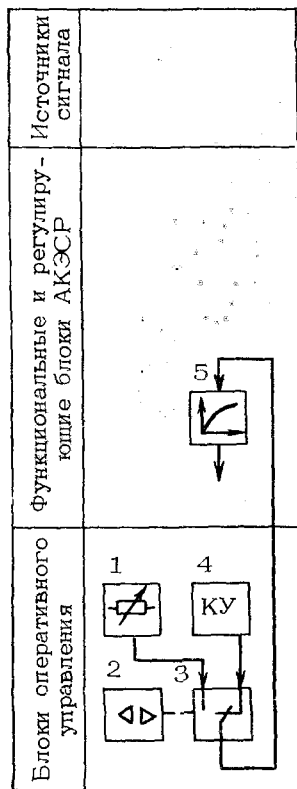
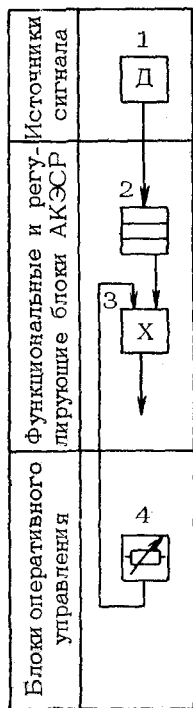


Рис. 9.15. Функциональная схема модуля МФС3.04.00.00.00

Рис. 9.16. Функциональная схема модуля МФС3.05.00.00.00

Рис. 9.17. Функциональная схема модуля МФС3.06.00.00.00

МФС3.06.00.00.00 (рис. 9.17) — параметрический программный задатчик. Сигнал задания формируется функциональным преобразователем 3 по заданному закону в соответствии с изменением задающего параметра. Сигнал параметра, поступающий от датчика 1, проходит через кондуктивный разделитель 2. Функция устройства 3 реализуется блоком нелинейных преобразований типа БНП, преобразующим входной сигнал параметра в соответствии с заданной функциональной зависимостью, функция устройства 2 — блоком кондуктивного деления типа БКР.

МФС3.07.00.00.00 (рис. 9.18) — временной программный задатчик. Сигнал задания формируется блоком прецизионного интегрирования типа БПИ, выходной сигнал которого пропорционален времени, и блоком нелинейных преобразований типа БНП, выходной сигнал которого есть заданная функция времени.

МФС3.08.00.00.00 (рис. 9.19) — следящее устройство для аналогового сигнала. Сумматор 1 формирует сигнал рассогласования между входным сигналом и

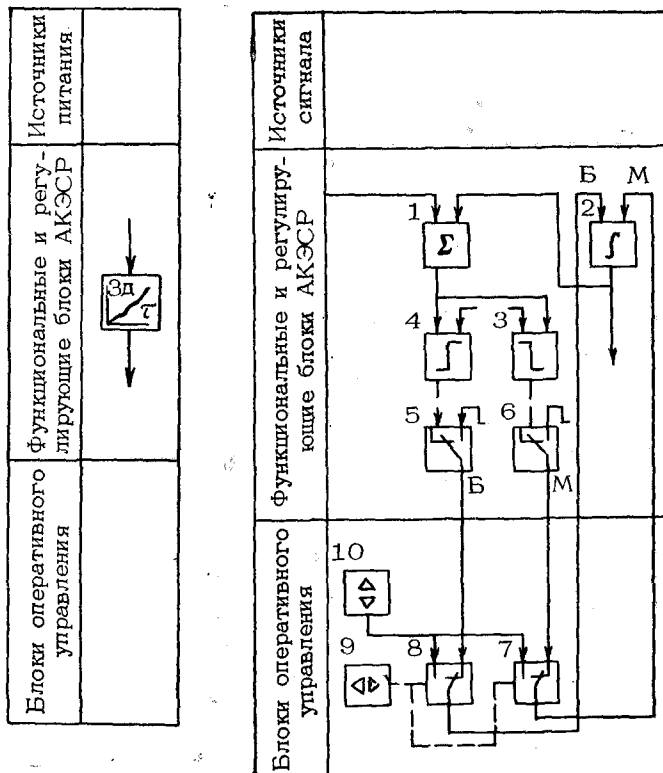


Рис. 9.18. Функциональная схема модуля МФС3.07.00.00.00

Рис. 9.19. Функциональная схема модуля МФС3.08.00.00.00

сигналом обратной связи с выхода интегратора 2. Сигнал рассогласования поступает на входы нуль-органов 4 и 3. При превышении этим сигналом величины установки и в зависимости от его знака срабатывает один из нуль-органов. Контакты 5 и 6 нуль-органа через соответствующие переключатели выбора режима работы 8 или 7 управляют интегратором, обеспечивая увеличение или уменьшение выходного сигнала. Переключатель режима управления интегратором («ручное» или «автоматическое») управляется кнопками 9. В режиме «ручное» интегратор 2 управляется кнопками 10. Функции устройств 10, 9, 8 и 7

реализуются блоком ручного управления типа БРУ-У, функции устройств 1, 3, 4, 5, 6 и 2 — блоком динамических преобразований типа БДП.

МФИС.00.01.00.00 (рис. 9.20) — сигнал от одного датчика. Сигнал параметра, формируемый датчиком 1, поступает на кондуктивный разделитель 2, осуществляющий гальваническую развязку электрических цепей датчика и регулятора, а затем на демпфер 3. Функция устройств 2, 3 реализуется блоком кондуктивного разделения типа БКРЗ.

МФИС.00.02.00.00 (рис. 9.21) — сигнал от двух датчиков. Сигнал параметра, формируемый датчиками 1 и 6, поступает на кондуктивные разделители 2 и 5, осуществляющие гальваническую развязку электрических цепей датчиков

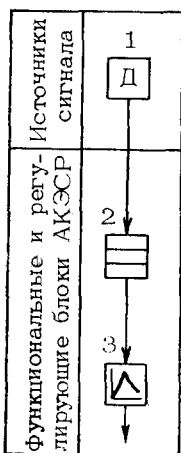


Рис. 9.20. Функциональная схема модуля МФИС.00.01.00.00

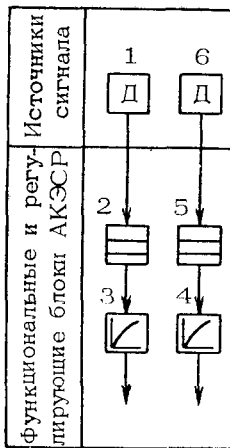


Рис. 9.21. Функциональная схема модуля МФИС.00.02.00.00

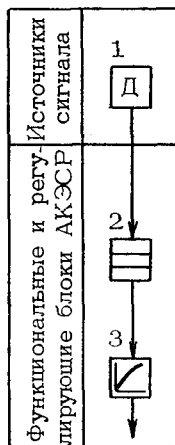


Рис. 9.22. Функциональная схема модуля МФИС.00.03.00.00

и регулятора, а затем на демпферы 3 и 4. Функции устройств 2, 5, 3 и 4 реализуются блоком кондуктивного разделения типа БКР2.

МФИС.00.03.00.00 (рис. 9.22) — дифференцирование входного сигнала. Сигнал параметра, формируемый датчиком 1, поступает на кондуктивный разделитель 2, осуществляющий гальваническую развязку электрических цепей датчика и регулятора. Сигнал, прошедший гальваническое разделение, поступает на дифференциатор 3. Функция устройства 2 реализуется блоком кондуктивного разделения типа БКР1, функция устройства 3 — блоком динамических преобразований типа БДП, включенным по схеме дифференциатора.

МФИС.00.04.00.00 (рис. 9.23) — демпфирование сигнала с большой постоянной времени. Сигнал параметра, формируемый датчиком 1, поступает на кондуктивный разделитель 2, осуществляющий гальваническую развязку электрических цепей датчика и регулятора. Сигнал, прошедший гальваническое разделение, поступает на функциональный элемент 3, преобразующий сигнал по экспоненциальному закону. Функция устройства 2 реализуется блоком кондуктивного

разделения типа БКРЗ, функция устройства 3 — блоком динамических преобразований типа БДП, включенным по схеме апериодического звена.

МФИС.00.05.00.00 (рис. 9.24) — нелинейное преобразование входного сигнала. Сигнал параметра, формируемый датчиком 1, поступает на кондуктивный разделитель 2, осуществляющий гальваническую развязку электрических цепей датчика и регулятора, затем на демпфер 3 и функциональный элемент 4, реализующий нелинейное преобразование сигнала по заданному закону. Функции устройств 2 и 3 реализуются блоком кондуктивного разделения типа БКР, функции устройства 4 — блоком нелинейных преобразований типа БНП.

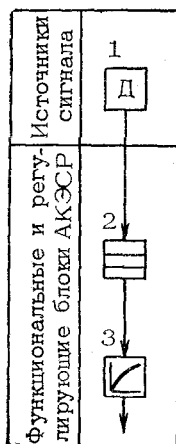


Рис. 9.23. Функциональная схема модуля МФИС.00.04.00.00

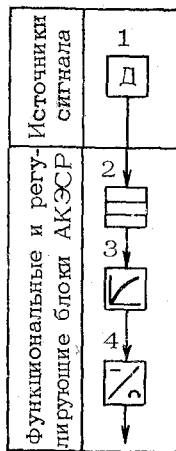


Рис. 9.24. Функциональная схема модуля МФИС.00.05.00.00

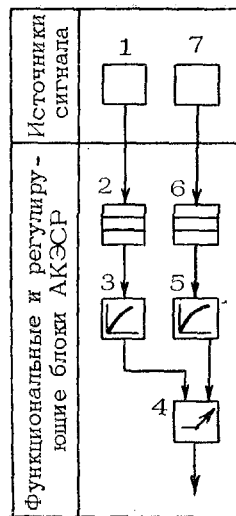


Рис. 9.25. Функциональная схема модуля МФИС.00.06.00.00

МФИС.00.06.00.00 (рис. 9.25) — селектирование (выделение максимального значения) выходного сигнала. Сигналы параметров, формируемые датчиками 1 и 7, поступают на кондуктивные разделители 2 и 6, осуществляющие гальваническую развязку электрических цепей датчиков и регулятора. Сигналы, прошедшие гальваническое разделение, поступают на демпферы 3 и 5, затем на функциональный элемент 4, реализующий селектирование входных сигналов. Функции устройств 2, 3, 5, 6 реализуются блоками кондуктивного разделения типа БКРЗ, функция 4 — блоком селектирования типа БСЛ.

МФИС.00.07.00.00 (рис. 9.26) — селектирование (выделение минимального значения) входного сигнала. Сигналы параметров, формируемые датчиками 1 и 7, поступают на кондуктивные разделители 2 и 6, осуществляющие гальваническую развязку электрических цепей датчиков и регулятора. Сигналы, прошедшие гальваническое разделение, поступают на демпферы 3 и 5, затем на функ-

ациональный элемент 4, выполняющий селектирование входных сигналов. Функции устройств 2, 3, 5, 6 реализуются блоками кондуктивного разделения типа БКРЗ, функция 7 — блоком селектирования типа БСЛ. Данный модуль отличается от предыдущего схемой подключения блоков.

МФИС.00.08.00.00 (рис. 9.27) — резервирование датчика. Сигналы параметра, формируемые датчиками 1 и 6, поступают на кондуктивные разделители 2 и 5, осуществляющие гальваническую развязку электрических цепей датчиков и регулятора. Сигналы, прошедшие гальваническое разделение, поступают на переключатель 4, управляемый компаратором 3. На компараторе сравнивается

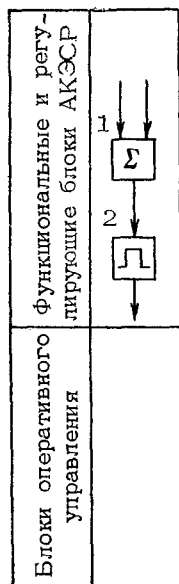
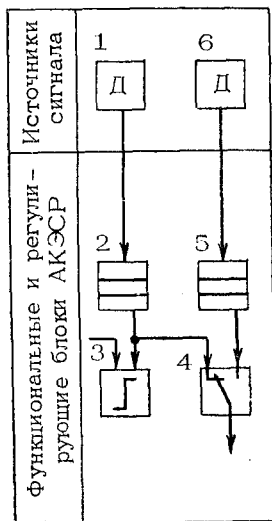
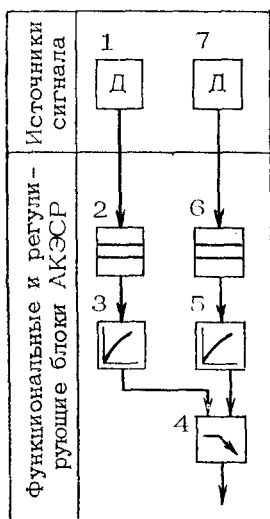


Рис. 9.26. Функциональная схема модуля МФИС.00.07.00.00

Рис. 9.27. Функциональная схема модуля МФИС. 00.08.00.00

Рис. 9.28. Функциональная схема модуля МФЗР.00.00.01.00

сигнал основного датчика и уставки. Функции устройства 2, 3, 4 реализуются блоком кондуктивного разделения типа БКРЗ, функция устройства 5 — блоком кондуктивного разделения типа БКР2.

МФЗР.00.00.01.00 (рис. 9.28) — импульсное регулирующее устройство. Сумматор 1 формирует сигнал рассогласования между сигналом задания и сигналом параметра. Сигнал рассогласования поступает в функциональный элемент 2, формирующий управляющее воздействие. Функции устройств 1, 2 реализуются импульсным регулирующим блоком типа РБИ1.

МФЗР.00.00.02.00 (рис. 9.29) — импульсное регулирующее устройство со станцией управления. Сумматор 5 формирует сигнал рассогласования между сигналом задания и сигналом параметра. Сигнал рассогласования поступает на функциональный элемент 4, формирующий управляющий сигнал. Управляющий

сигнал может формироваться также кнопками. Источник управляющего сигнала выбирается переключателем 3, управляемым кнопками 2. Функции устройств 5 и 4 реализуются импульсным регулирующим блоком типа РБИ1, функции 1, 2, 3 — блоком ручного управления типа БРУ-У.

МФЗР.00.00.03.00 (рис. 9.30) — импульсное регулирующее устройство с автоподстройкой и станцией управления. Сумматор 5 формирует сигнал рассогласования между сигналом задания и сигналом параметра. Сигнал рассогласова-

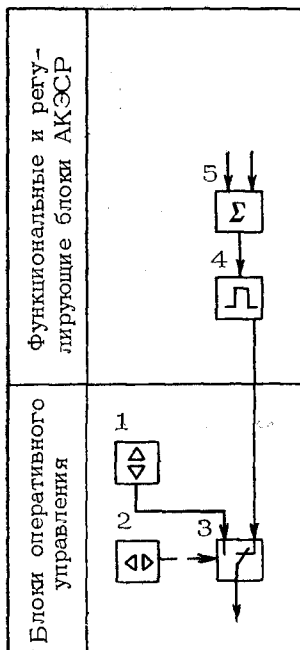


Рис. 9.29. Функциональная схема модуля МФЗР.00.00.02.00

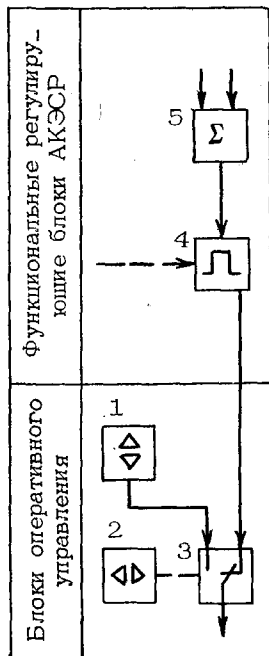


Рис. 9.30. Функциональная схема модуля МФЗР.00.00.03.00

ния поступает на функциональный элемент 4, формирующий управляющий сигнал. Настройка регулирующего устройства изменяется корректирующим сигналом. Управляющий сигнал может формироваться также кнопками 1. Источник управляющего сигнала выбирается переключателем 3, управляемым кнопками 2. Функции устройств 5 и 4 реализуются импульсным регулирующим блоком типов РБИ2 и РБИ3, функции устройств 1, 2, 3 — блоком ручного управления типа БРУ-У.

МФЗР.00.00.04.00 (рис. 9.31) — трехпозиционное регулирующее устройство. Сумматор 5 формирует сигнал рассогласования между сигналом задания и сигналом параметра. Сигнал рассогласования поступает на функциональный элемент 4, формирующий управляющий сигнал с трехпозиционной характеристикой. Управляющий сигнал может формироваться также кнопками 1. Источник управляющего сигнала выбирается переключателем 3, управляемым кнопками 2.

Функции устройства 5 и 4 реализуются блоком сигнализации типа БСГ, функции устройств 1, 2, 3 — блоком ручного управления типа БРУ-У.

МФЗР.00.00.05.00 (рис. 9.32) — аналоговое регулирующее устройство. Сумматор 5 формирует сигнал рассогласования между сигналом задания и сигналом параметра. Сигнал рассогласования поступает на функциональный элемент 4, формирующий ПД-составляющую закона регулирования. Интегратор 6 формирует И-составляющую закона регулирования (в режиме автоматического регу-

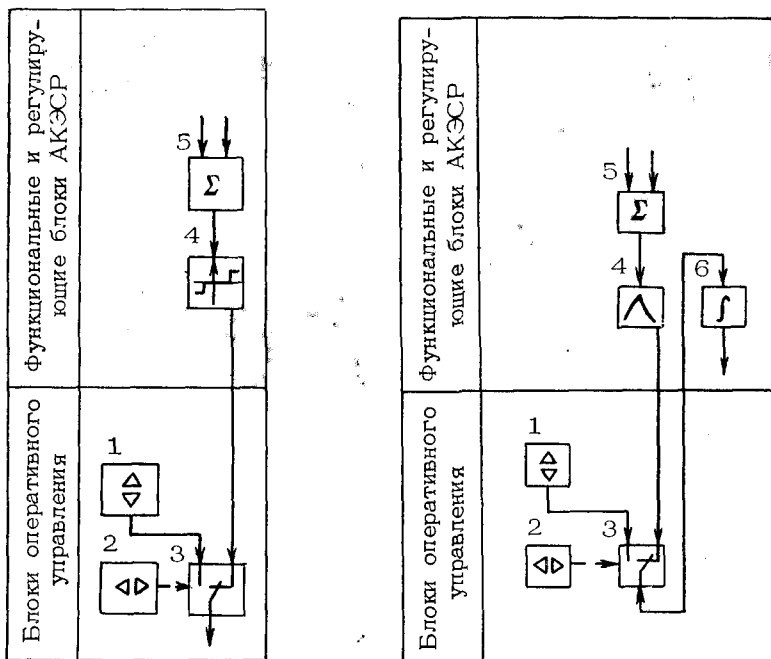


Рис. 9.31. Функциональная схема модуля МФЗР.00.00.04.00

Рис. 9.32. Функциональная схема модуля МФЗР.00.00.05.00

лирования) или интегрирует длительность включения кнопок 1 в режиме дистанционного управления. Режим управления интегратором выбирается переключателем 3, который управляется кнопками 2. Функции устройств 4, 5, 6 реализуются аналоговым регулирующим блоком типа РБА, функции устройств 1, 2, 3 — блоком ручного управления типа БРУ-У.

МФЗР.00.00.06.00 (рис. 9.33) — аналоговое регулирующее устройство с резервным источником управляющего сигнала. Сумматор 9 формирует сигнал рассогласования между сигналом задания и сигналом параметра. Сигнал рассогласования поступает в функциональный элемент 8, формирующий ПД-составляющую закона регулирования. Интегратор 7 формирует И-составляющую закона регулирования (в режиме автоматического регулирования) или интегрирует длительность включения кнопок 1 (в режиме дистанционного управления). Режим управления интегратором выбирается переключателем 3, который управляет

ется кнопками 2. Управляющий сигнал может быть также сформирован функциональным элементом 6. Источник управляющего сигнала выбирается переключателем 5, управляемым кнопками 4. Функции устройств 9, 8, 7 реализуются аналоговым регулирующим блоком типа РБА, функции устройств 1, 2, 3 — блоком ручного управления типа БРУ-У, функция устройства 6 — ручным задат-

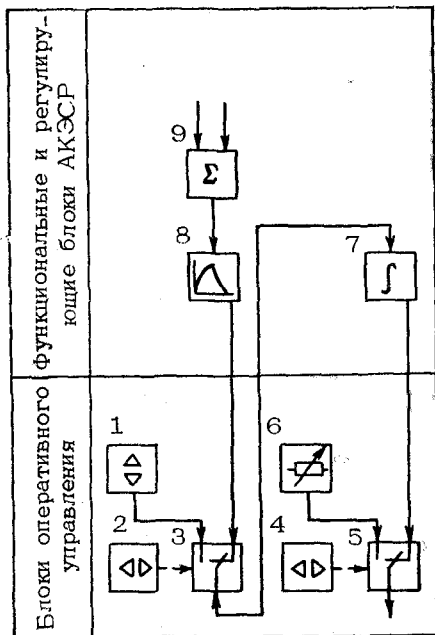
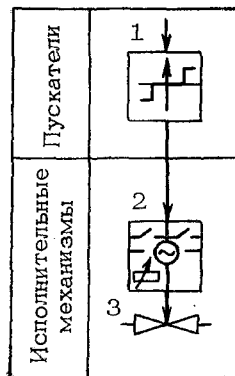


Рис. 9.33. Функциональная схема модуля МФЗР.00.00.06.00
Рис. 9.34. Функциональная схема модуля МФВП.00.00.00.01



чиком типа РЗД, функции устройства 4 и 5 — блоком ручного управления типа БРУ-2К.

МФВП.00.00.00.01 (рис. 9.34) — схема управления исполнительным механизмом. Управляющий сигнал поступает на функциональный блок 1, преобразующий сигнал до уровня, позволяющего управлять исполнительным механизмом 2. Исполнительный механизм управляет регулирующим органом 3.

Глава 10

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

10.1. Общие сведения

Исполнительные устройства — это функциональные элементы систем автоматического управления, осуществляющие воздействие на объект управления. Они являются конечными устройствами в цепях автоматического управления

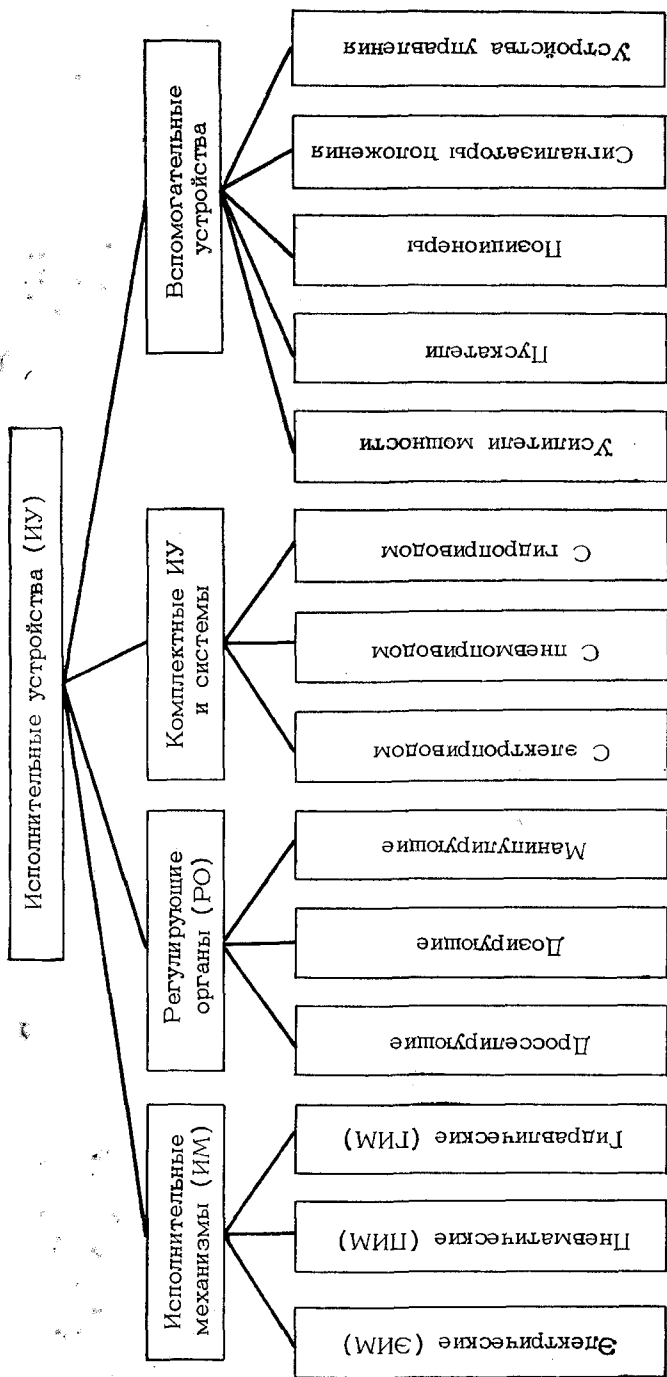


Рис. 10.1. Структура исполнительных устройств

технологическими процессами. Их структура и конструкция зависят от конкретных условий применения. В общем случае они содержат следующие функциональные блоки: блок усиления или позиционер, исполнительный механизм, регулирующий орган, блок ручного управления (дублер), датчик положения, блок обратной связи, блок сигнализации конечных положений (рис. 10.1).

По виду потребляемой энергии исполнительные механизмы подразделяют на электрические, гидравлические и пневматические. В зависимости от вида исполнительного механизма подбирают и соответствующие вспомогательные блоки. Наибольшее распространение получили электрические исполнительные механизмы. Они позволяют получить достаточно большие перестановочные усилия и высокую точность позиционирования. Пневматические исполнительные механизмы имеют более высокие значения быстродействия и точности позиционирования. Гидравлические исполнительные механизмы применяют для обеспечения больших перестановочных усилий.

Комплектные исполнительные механизмы предназначены для коммутации небольших расходов жидких и газообразных веществ. В их состав входят электрогидроклапаны и электропневмоклапаны. По функциональному назначению их подразделяют на регулирующие и запорно-регулирующие.

Исполнительные устройства характеризуют три группы параметров.

1. Параметры, определяющие работоспособность в конкретных условиях эксплуатации: допустимые значения температуры, давления, условий вибрации, показатели надежности, параметры питания и др.

2. Параметры, необходимые для расчета статической характеристики регулирующего органа: пропускная способность, пропускная характеристика, коэффициент критического расхода и др.

3. Параметры, определяющие статические метрологические характеристики исполнительного механизма и исполнительного устройства на холостом ходу (в отсутствие в регулирующем органе регулируемой среды): ходовая характеристика, класс точности, чувствительность и др.

Установлены следующие классы точности исполнительных устройств: 1,5; 2,5; 4,0; 6,0. Вероятность безотказной работы не ниже 0,98 за 2000 ч работы при доверительной вероятности 0,8.

10.2. Электрические исполнительные механизмы (ЭИМ)

Исполнительные механизмы предназначены для перестановки регулирующих органов, осуществляющих управляющее воздействие на технологический процесс. Электрические исполнительные механизмы состоят из электродвигателя, редуктора, выходного рычага и различных дополнительных устройств. В качестве привода ЭИМ используют асинхронные трехфазные двигатели общепромышленного назначения, специальные асинхронные двухфазные двигатели с полым ротором и низкооборотные двигатели. Для увеличения крутящего момента и достижения необходимой скорости перемещения выходного органа применяют цилиндрические и червячные редукторы. Механизмы комплектуют датчиками положения выходного органа и сигнала обратной связи, пропорционально положению регулирующего органа.

Промышленность практически выпускает только ЭИМ постоянной скорости. Различные по величине перемещения регулирующего органа реализуются вследствие различной продолжительности времени включения двигателя. Требуемый

закон перемещения регулирующего органа при автоматическом управлении формируется регулирующим устройством или ЭВМ и реализуется ЭИМ в результате повторно-кратковременного включения двигателя с соответствующим соотношением между длительностями включенного и выключенного состояний.

В зависимости от характера перемещения выходного рычага ЭИМ подразделяют на три типа:

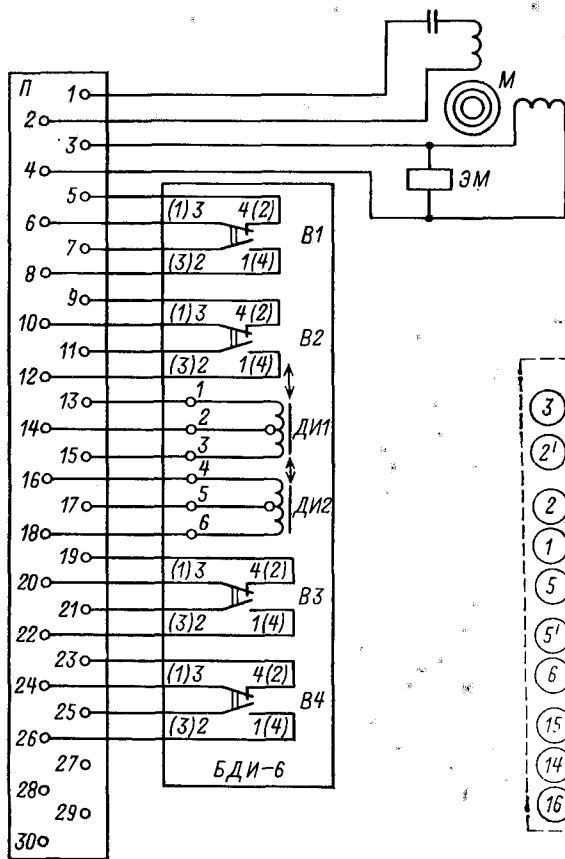
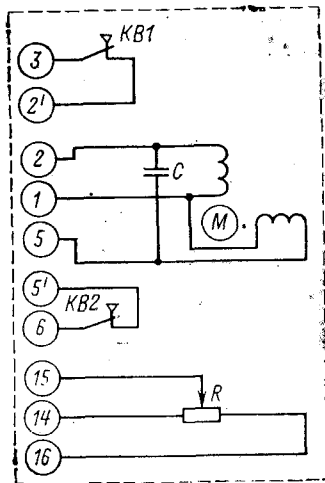


Рис. 10.2. Принципиальная электрическая схема механизмов типов МЭО-1,6 и МЭО-4

Рис. 10.3. Принципиальная электрическая схема механизмов типа МЭО-0,63 с предельным выключателем



многооборотные электрические механизмы (МЭМ) с вращающимся выходным органом, выходной вал которых совершает требуемое число оборотов; однооборотные электрические механизмы (МЭО), выходной рычаг которых совершает поворот в пределах угла меньше 360° ; прямоходные электрические механизмы (МЭП) с поступательным движением выходного рычага.

Основными параметрами, характеризующими ЭИМ, являются: крутящий момент на валу для механизмов типов МЭО и МЭМ или усилие на штоке для механизмов типа МЭП, номинальное время перемещения выходного органа, номинальный угол поворота или путь, величина управляющего сигнала или диапазон его изменения, а также характер изменения величины средней относительной скорости в зависимости от длительности управляющего импульса.

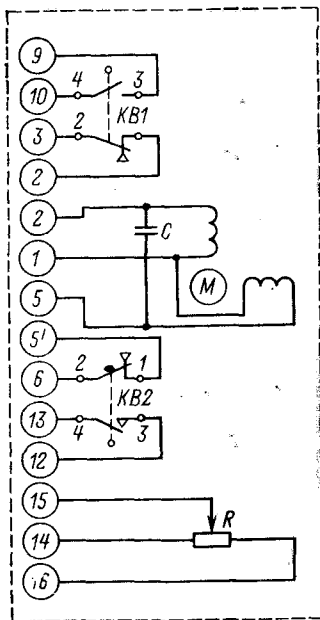
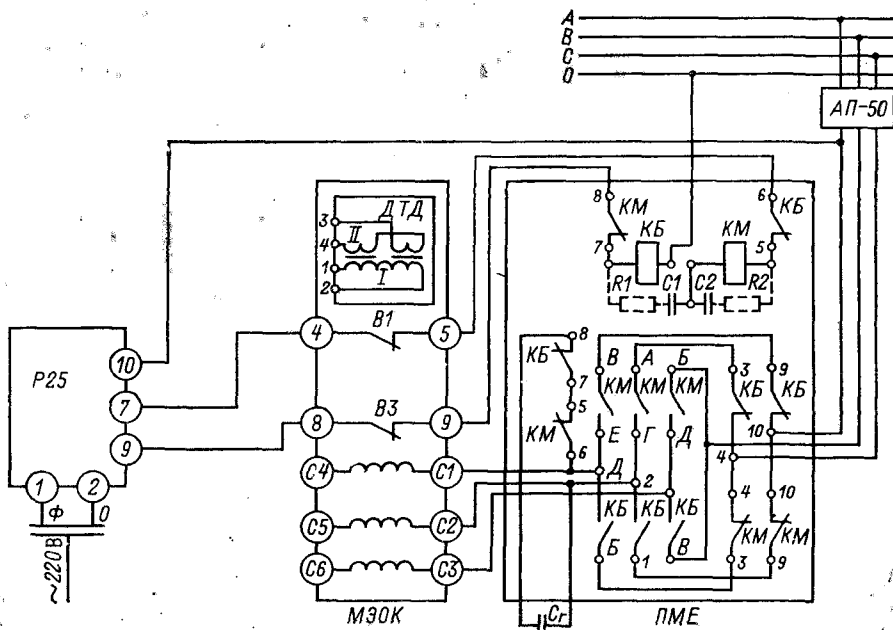


Рис. 10.4. Принципиальная электрическая схема механизмов типа МЭО-0,63 с блоком переключателей

Рис. 10.5. Схема управления исполнительным механизмом типа МЭОК с помощью магнитного пускателя типа ПМЕ



От выводов 7-8-9
электронного блока
регулирующего
прибора

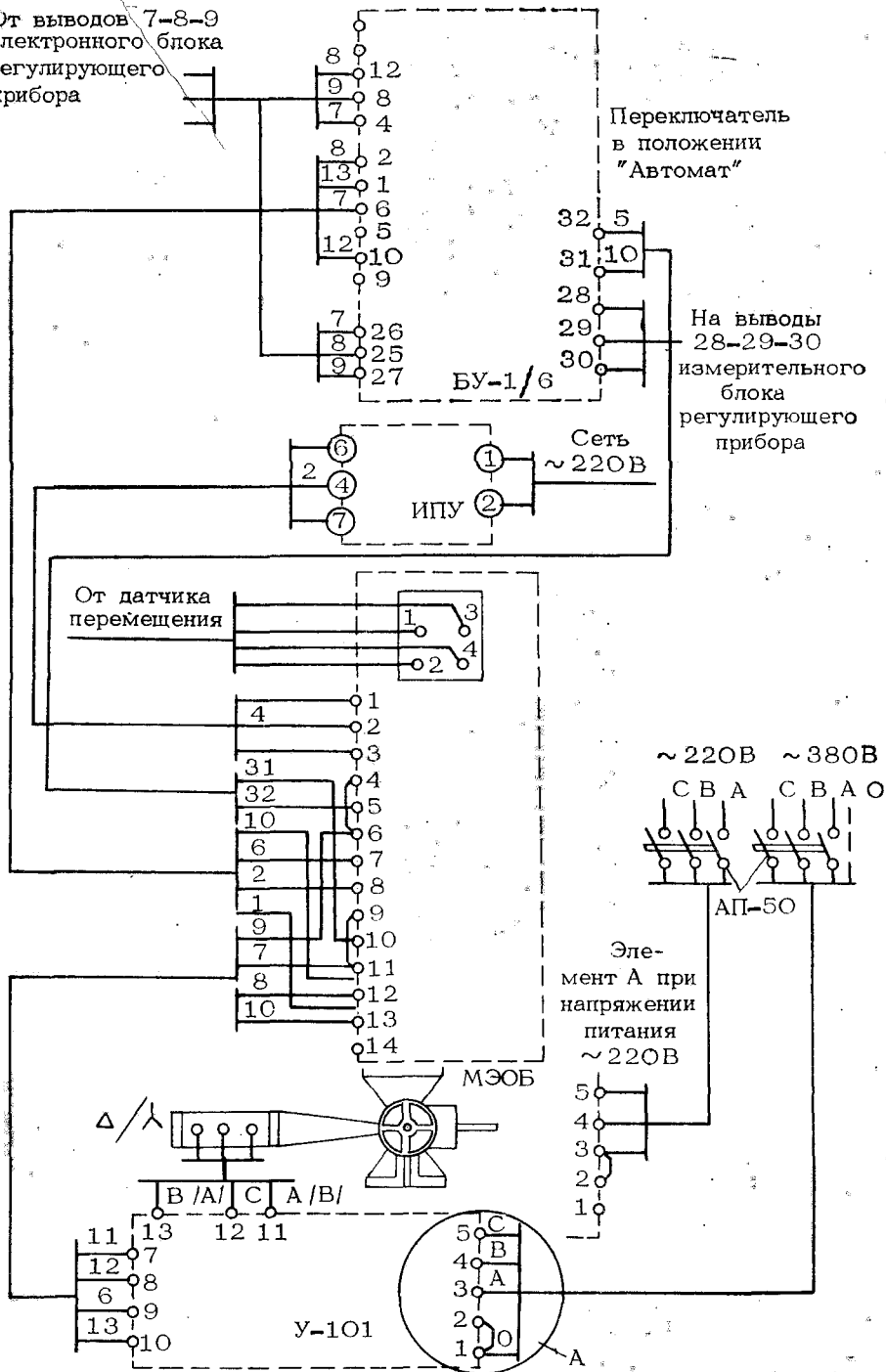


Рис. 10.6. Схема бесконтактного управления исполнительным механизмом типа МЭОБ через усилитель тиристорный типа У-101

В зависимости от способа усиления управляющего сигнала ЭИМ подразделяются на механизмы с контактным и бесконтактным управлением. В ЭИМ с контактным управлением используются асинхронные двигатели типа АОЛ. Включение, отключение и реверсирование двигателей в таких механизмах производится с помощью релейной или контактной аппаратуры. В ЭИМ с бесконтактным управлением используются специальные двухфазные конденсаторные двигатели типа ДАУ. Для бесконтактного управления используются электронные и полупроводниковые усилители (преимущественно тиристорные).

Все ЭИМ изготавливаются для работы в повторно-кратковременном реверсивном режиме с числом включений до 300 в 1 ч и продолжительностью включений до 25%. Допускается работа в течение 1 ч в повторно-кратковременном реверсивном режиме с числом включений до 600.

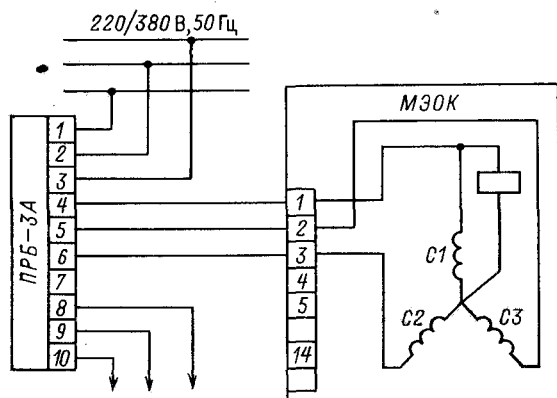


Рис. 10.7. Схема внешних соединений механизма типа МЭОК с бесконтактным пускателем типа ПБР-3А и электродвигателем типа АОЛ

ЭИМ с двигателем АОЛ питаются от трехфазной сети переменного тока напряжением 380/220 В, ЭИМ с двигателями ДАУ — от однофазной сети переменного тока напряжением 220 В.

Пусковой крутящий момент механизмов при номинальном напряжении питания превышает номинальный момент не менее чем в 1,7 раза.

Принципиальные электрические схемы ЭИМ приведены на рис. 10.2—10.4, схемы управления — на рис. 10.5—10.8.

Основные технические данные ЭИМ приведены в табл. 10.1.

В механизмах МЭО-1,6 и МЭО-4 в качестве привода используется электродвигатель типа ДАУ-4. Механизмы оснащаются блоками сигнализации положения с индуктивным (БДИ-6) или реостатным (БДР-П) датчиком положения выходного органа.

Блок сигнализации положения типа БДИ-6 состоит из двух индуктивных датчиков перемещения, профильного кулачка, четырех микровыключателей с четырьмя кулачками. Индуктивный датчик состоит из двух катушек, в поле которых перемещается сердечник.

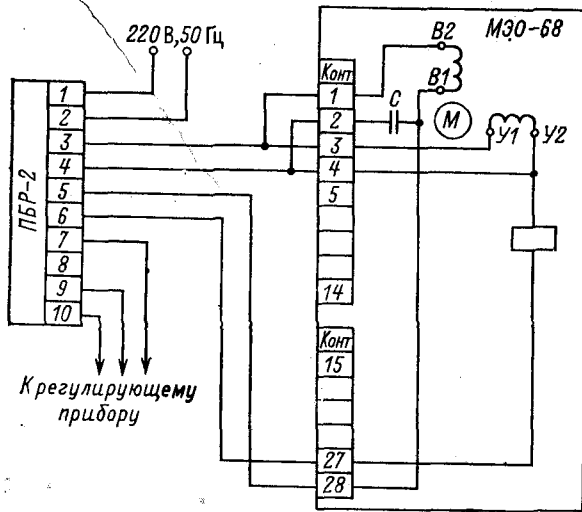


Рис. 10.8. Схема внешних соединений механизмов типа МЭО-68 с бесконтактным пускателем типа ПБР-2

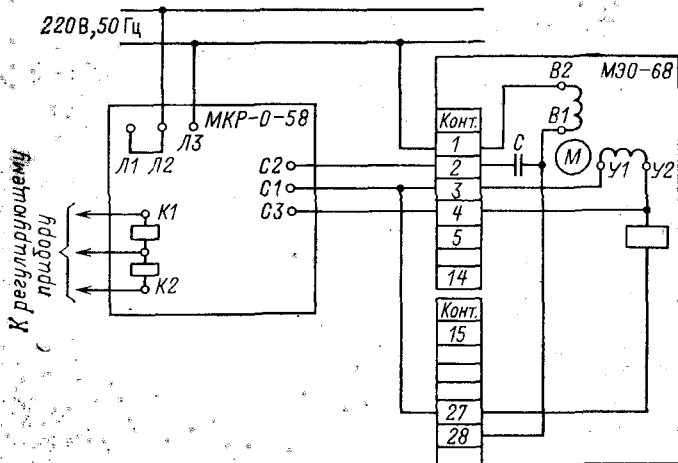


Рис. 10.9. Схема внешних соединений механизмов типа МЭО-68 с контактным пускателем и электродвигателем типа ДАУ

Таблица 10.1. Технические данные ЭИМ

Тип механизма	Номинальный крутящий момент на выходном валу, Н·м	Номинальное время полного хода выходного вала, с	Номинальный полный ход выходного вала, об.
МЭО-1,6/25-0,63	16	10; 25	0,25; 0,63
МЭО-4/63-0,63	40	25; 63; 160; 400	0,25; 0,63
МЭМ-4Б	40	25; 63; 160; 400	10; 25; 63
МЭМ-10Б	100	25; 63	10; 25; 63
МЭМ-10/250-250	100	250	250
МЭОБ-25/100	250	100	0,25
МЭОБ-25/10-0,25	250	10	0,25
МЭОБ-63-25-0,25	630	25	0,25
МЭОБ-Л-63/25-0,25	630	25	0,25
МЭОК-25/25-0,25	250	25	0,25
МЭОК-25/10-0,25	250	10	0,25
МЭОК-63/25-0,25	630	25	0,25
МЭОК-Л-63/25-0,25	630	25	0,25
МЭО-4/10-0,25-68	40	10	0,25
МЭО-4/25-0,63-68	40	25	0,63
МЭО-10/10-0,25	100	10	0,25
МЭО-10/25-0,63	100	25	0,63
МЭО-10/25-0,25-68	100	25	0,25
МЭО-10/63-0,63-68	100	63	0,63
МЭО-25/25-0,25	250	25	0,25
МЭО-25/63-0,63	250	63	0,63
МЭО-25/63-0,25	250	63	0,25
МЭО-25/160-0,63	250	160	0,63
МЭО-63/25-0,25-68	630	25	0,25
МОЭ-63/63-0,63-68	630	63	0,63
МЭО-160/63-0,25-68	1600	63	0,25
МЭО-160/160-0,63-68	1600	160	0,63
МЭО-400/63-0,25	4000	63	0,25
МЭО-400/160-0,63	4000	160	0,63
МЭО-25/10-0,25К-68	250	10	0,25
МЭО-25/25-0,63К-68	250	25	0,63
МЭО-63/25-0,63К-68	630	25	0,63
МЭО-63/10-0,25К-68	630	10	0,25
МЭО-63/25-0,25К-68	630	25	0,25
МЭО-63/63-0,63К-68	630	63	0,63
МЭО-160/25-0,25К-68	1600	25	0,25
МЭО-160/63-0,63К-68	1600	63	0,63
МЭО-400/25-0,25К-69	4000	25	0,25
МЭО-400/63-0,63К-69	4000	63	0,63
МЭО-400/63-0,25К-69	4000	63	0,25
МОЭ-400/160-0,63К-69	4000	160	0,63
МЭО-1000/63-0,25К	10 000	63	0,25
МЭО-1000/160-0,63К	10 000	160	0,63
МЭО-1,6/25-0,25-77	16	25	0,25
МЭО-1,6/63-0,25-77	16	63	0,25
МЭО-0,63/10-0,25	6,3	10	0,25
МЭО-0,63/25-0,25	6,3	25	0,25
МЭО-0,63/63-0,25	6,3	63	0,25
МЭО-0,63/10-0,25П	6,3	10	0,25
МЭО-0,63/25-0,25П	6,3	25	0,25

Тип механизма	Номинальный крутящий момент на выходном валу, Н·м	Номинальное время полного хода выходного вала, с	Номинальный полный ход выходного вала, об.
МЭО-0,63/63-0,25П	6,3	63	0,25
МЭО-0,63/10-0,25Ш	6,3	10	0,25
МЭО-0,63/25-0,25Ш	6,3	25	0,25
МЭО-0,63/63-0,25Ш	6,3	63	0,25
МЭО-0,63/10-0,25Ш	6,3	10	0,25
МЭО-0,63/25-0,25Ш	6,3	25	0,25
МЭО-0,63/63-0,25Ш	6,3	63	0,25

Блок сигнализации положения типа БДР-П отличается от блока БДИ-6 тем, что в нем вместо индуктивных датчиков используются четыре реостата с токо-съемником и контактными кольцами. Предусмотрена работа на двух реостатах в диапазоне углов 0—90° или 0—240°.

Управление механизмами — только от контактной аппаратуры.

Многооборотные ЭИМ типа МЭМ состоят из трехфазного асинхронного двигателя, двух цилиндрических колес и самотормозящей червячной передачи. Включение механизма осуществляется с помощью магнитного пускателя.

ЭИМ типа МЭОБ — однооборотный механизм с бесконтактным управлением через тиристорный трехпозиционный усилитель типа У-101.

ЭИМ типа МЭОК — однооборотный механизм с контактным управлением через пускатели магнитные реверсивные типа ПМЕ.

В исполнительных механизмах типа МЭО в качестве электропривода используются трехфазные двигатели типов АОЛ и 4А или специальные двухфазные асинхронные двигатели типа ДАУ. Если в ЭИМ используется трехфазный асинхронный двигатель, то в наименовании механизма ставится буква К.

В *ЭИМ типа МЭО-1,6/25-0,25-77* используется синхронный редукторный двигатель типа ДСР. Эти механизмы оснащаются датчиками положения и обратной связи БДИ-6, БДР-П, БСПТ, БСПИ.

Блок сигнализации положения токовый типа БСПТ состоит из блока питания и блока датчиков. Работа блока датчиков построена на основе дифференциального индуктивного преобразователя и автогенераторного усилителя.

Напряжение отрицательной обратной связи по выходному току позволяет получить изменение выходного сигнала 0—5 мА при изменении угла поворота выходного вала от 0 до 90° или от 0 до 225°.

Блок сигнализации положения индуктивный типа БСПИ состоит из двух индуктивных датчиков.

При вращении вала блока профильный кулачок перемещает подвижный магнитопровод, что влечет за собой изменение индуктивности катушек датчика и изменение напряжения в диагонали моста, образованного катушками и обмотками питающего трансформатора.

Выходной сигнал в виде напряжения переменного тока изменяется в пределах 0—625 мВ при изменении угла поворота вала от 0 до 90° или от 0 до 225°.

Механизмы МЭО-0,63 предназначены для замены механизмов типа ПР. В качестве привода в этих механизмах используется самотормозящийся одно-

фазный асинхронный электродвигатель с фазосдвигающим конденсатором. Механизмы могут иметь предельный выключатель ПВ, с помощью которого осуществляется ограничение крайних положений выходного органа, или блок переключателей БП, который, кроме ограничения крайних положений, осуществляет сигнализацию промежуточных положений выходного органа. Механизмы оснащены реостатным датчиком положения выходного органа.

При наличии в механизме БП в обозначение механизма вводится буква П. Буква Ш в обозначении показывает, что данный механизм снабжен дополнительным выходным органом в виде штока, который осуществляет поступательное движение. Усилие на шток 300 Н.

Для управления ЭИМ применяют следующие устройства: усилитель тиристорный трехпозиционный типа У-101, усилитель исполнительный тиристорный бесконтактный типа УИТБ-20, усилитель тиристорный трехпозиционный типа У22, пускатель магнитный реверсивный с тормозным устройством типов ПМРТ-69-1, ПМРТ-69-2, пускатели бесконтактные реверсивные типа ПБР, пускатели магнитные типа ПМЕ.

10.3. Электроприводы трубопроводной арматуры

Для механизированного и автоматизированного управления трубопроводной арматурой, помимо электрических исполнительных механизмов, часто применяют электроприводы.

Электроприводы выпускают с крутящими моментами от 5 до 10 000 Н·м в нормальном и взрывозащищенном исполнении. Виды присоединения привода к арматуре — М, А, Б, В, Г, Д. Условное обозначение электропривода состоит из девяти знаков (цифр и букв). Первые два знака (цифры 87) обозначают электропривод с электродвигателем и редуктором. Следующим знаком является одна из букв, обозначающая тип присоединения (М, А, Б, В, Г, Д). Четвертый знак (цифра) условно указывает крутящий момент электропривода (табл. 10.2). Пятый

Таблица 10.2. Условные обозначения параметра электроприводов

Численное значение	Условное обозначение	Численное значение	Условное обозначение
Крутящий момент, Н·м		24	4
5—25	1	25	5
25—60	2	40	6
60—100	3	48	7
100—250	4	50	8
250—630	46	Полное число оборотов приводного вала	
630—1000	5	1—6	1
1000—2500	6	1—10	2
2500—8500	7	4—24	3
6300—10 000	8	24—144	3а
Частота вращения приводного вала, об/мин		6—36	4
5, 6	0	10—45	5
9,3; 9,5; 10	1	36—200	6
12	2	144—800	7
20	3		

Таблица 10.3. Технические данные электроприводов

Тип присоединения	Крутящий момент, Н·м		Частота вращения приводного вала, об/мин	Диапазон настроек полного числа оборотов приводного вала	
	от	до		от	до
М	5	10	9,5	1	6
	10	25		4	24
А	25	60	12; 24	1	10
	60	100		10	45
Б	100	250	25; 50; 6	1	6
	250	630		6	36
В	630	1000	24; 48	36	200
	1000	2500		1	6
Г	1000	2500	20; 40	6	36
	1000	2500		36	200
Д	1000	2500	20; 40	4	24
	1000	2500		24	144
	1000	2500	20; 40	144	800
	2500	8500		1	6
	6300	10 000	9,3	6	36
	6300	10 000		36	200

Таблица 10.4. Основные технические данные электроприводов унифицированного ряда

Пределы регулирования муфты ограничения момента, Н·м	Полное число оборотов приводного вала, об.	Частота вращения приводного вала, об/мин	Условное обозначение
Тип присоединения М			
5—10	1—6	9,5	87М111 УШ1
5—10	4—24	9,5	
10—25	1—6	9,5	87М113 УШ1
10—25	4—24	9,5	
Тип присоединения А			
25—60	1—10	12	87А222 УШ1
25—60	1—10	24	87А242 УШ1
25—60	10—45	12	87А225 УШ1
25—60	10—45	24	87А245 УШ1
60—100	1—10	12	87А322 УШ1
60—100	1—10	24	87А342 УШ1
60—100	10—45	12	87А325 УШ1
60—100	10—45	24	87А345 УШ1
Тип присоединения Б			
100—250	1—6	25	87Б451 УС1
100—250	6—36	25	87Б454 УС1
100—250	36—200	25	87Б456 УС1
100—250	1—6	50	87Б481 УС1
100—250	6—36	50	87Б484 УС1
100—250	36—200	50	87Б486 УС1

Продолжение табл. 10.4

Пределы регулировки муфты ограничения момента, Н·м	Полное число оборотов приводного вала, об.	Частота вращения приводного вала, об/мин	Условное обозначение
100—250	1—6	25	87Б451 УШ1
100—250	6—36	25	87Б454 УШ1
100—250	36—200	25	87Б456 УШ1
100—250	1—6	50	87Б481 УШ1
100—250	6—36	50	87Б484 УШ1
100—250	36—200	50	87Б486 УШ1
100—250	1—6	6	87Б401 УС1
100—250	6—36	6	87Б404 УС1
100—250	36—200	6	87Б406 УС1
100—250	1—6	6	87Б401 УШ1
100—250	6—36	6	87Б404 УШ1
100—250	36—200	6	87Б406 УШ1
Тип присоединения В			
250—630	1—6	24	87В4641 УС1
250—630	6—36	24	87В4644 УС1
250—630	36—200	24	87В4646 УС1
250—630	1—6	48	87В4671 УС1
250—630	6—36	48	87В4674 УС1
250—630	36—200	48	87В4676 УС1
250—630	1—6	24	87В4641 УШ1
250—630	6—36	24	87В4644 УШ1
250—630	36—200	24	87В4646 УШ1
250—630	1—6	48	87В4671 УШ1
250—630	6—36	48	87В4674 УШ1
250—630	36—200	48	87В4676 УШ1
630—1000	1—6	24	87Б541 УС1
630—1000	6—36	24	87Б544 УС1
630—1000	36—200	24	87Б546 УС1
630—1000	1—6	48	87Б571 УС1
630—1000	6—36	48	87Б574 УС1
630—1000	36—200	48	87Б576 УС1
630—1000	1—6	24	87Б541 УШ1
630—1000	6—36	24	87Б544 УШ1
630—1000	36—200	24	87Б546 УШ1
630—1000	1—6	48	87Б571 УШ1
630—1000	6—36	48	87Б574 УШ1
630—1000	36—200	48	87Б576 УШ1
250—630	1—6	6	87В4601 УС1
250—630	6—36	6	87В4604 УС1
250—630	36—200	6	87В4606 УС1
250—630	1—6	6	87В4601 УШ1
250—630	6—36	6	87В4604 УШ1
250—630	36—200	6	87В4606 УШ1
630—1000	1—6	6	87Б501 УС1
630—1000	6—36	6	87Б504 УС1
630—1000	36—200	6	87Б506 УС1

Продолжение табл. 10.4

Пределы регулировки муфты ограничения момента, Н·м	Полное число оборотов приводного вала, об.	Частота вращения приводного вала, об/мин	Условное обозначение
630—1000	1—6	6	87В501 УШ1
630—1000	6—36	6	87В504 УШ1
630—1000	36—200	6	87В506 УШ1
Тип присоединения Г			
1000—2500	1—6	20	87Г631 УС1
1000—2500	6—36	20	87Г634 УС1
1000—2500	36—200	20	87Г636 УС1
1000—2500	1—6	40	87Г661 УС1
1000—2500	6—36	40	87Г664 УС1
1000—2500	36—200	40	87Г666 УС1
1000—2500	4—24	40	87Г663 УС1
1000—2500	24—144	40	87Г663аУС1
1000—2500	144—800	40	87Г667 УС1
1000—2500	1—6	20	87Г631 УШ1
1000—2500	6—36	20	87Г634 УШ1
1000—2500	36—200	20	87Г636 УШ1
1000—2500	1—6	40	87Г661 УШ1
1000—2500	6—36	40	87Г664 УШ1
1000—2500	36—200	40	87Г666 УШ1
1000—2500	4—24	40	87Г663 УШ1
1000—2500	24—144	40	87Г663аУШ1
1000—2500	144—800	40	87Г667 УШ1
1000—2500	1—6	5	87Г601 УС1
1000—2500	6—36	5	87Г604 УС1
1000—2500	36—200	5	87Г606 УС1
1000—2500	1—6	5	87Г601 УШ1
1000—2500	6—36	5	87Г604 УШ1
1000—2500	36—200	5	87Г606 УШ1
Тип присоединения Д			
2500—8500	1—6	10	87Д711 УС1
2500—8500	6—36	10	87Д714 УС1
2500—8500	36—200	10	87Д716 УС1
2500—8500	1—6	10	87Д711 УШ1
2500—8500	6—36	10	87Д714 УШ1
2500—8500	36—200	10	87Д716 УШ1
6300—10 000	1—6	9,3	87Д811 УС1
6300—10 000	6—36	9,3	87Д814 УС1
6300—10 000	36—200	9,3	87Д816 УС1
6300—10 000	1—6	9,3	87Д811 УШ1
6300—10 000	6—36	9,3	87Д814 УШ1
6300—10 000	36—200	9,3	87Д816 УШ1

знак (цифра) условно обозначает частоту вращения (об/мин) приводного вала (табл. 10.2). Шестой знак (цифра) условно обозначает полное число оборотов приводного вала, которое он может сделать в зависимости от исполнения коробки моментных выключателей (табл. 10.2).

Шестью знаками ограничивается первая группа знаков обозначений.

Вторая группа знаков состоит из двух букв и цифры. Первая буква второй группы обозначений указывает исполнение привода по климатическим условиям: У — для умеренного климата; М — морозостойкое; Т — тропическое; П — для повышенной температуры. Вторая буква обозначает вид подключения контрольного кабеля к коробке электропривода: Ш — штепсельный разъем; С — сальниковый

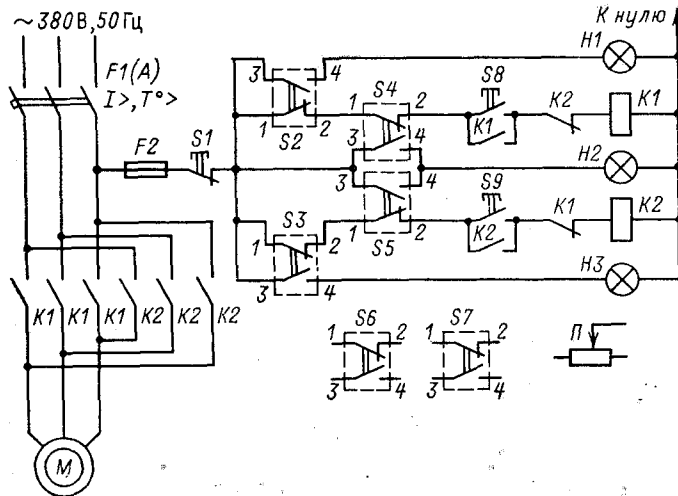


Рис. 10.10. Электрическая схема управления электроприводами унифицированного ряда:

М — асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором; S2, S3 — путевые микровыключатели МП1101 открытия и закрытия; S6, S7 — дополнительные путевые микровыключатели МП1101; S4, S5 — моментные выключатели МП1101 открытия и закрытия; K1, K2 — магнитные пускатели открытия и закрытия; H1, H2, H3 — сигнальные лампы «Открыто», «Закрыто», «Муфта»; S8, S9, S1 — кнопки управления «Открыто», «Закрыто», «Стоп»; П — потенциометр ППЗ-20 (20 кОм); F2 — предохранитель; F1 — автоматический выключатель; 1—4 — контакты микровыключателей

ввод; последний знак (цифра) указывает исполнение привода по взрывозащите. Цифра 1 обозначает нормальное исполнение Н; остальные цифры (2—4) указывают категорию взрывозащитности: 2 — категория ВЗГ; 3 — категория В4А; 4 — категория В4Д. В соответствии с системой обозначений, например, электропривод с индексом 87Б451 УС1 имеет следующие данные: 87 — электропривод; Б — тип присоединения; 4 — крутящий момент от 100 до 250 Н·м; 5 — частота вращения приводного вала 25 об/мин, 1 — полное число оборотов приводного вала от 1 до 6; У — для умеренного климата; С — сальниковый ввод кабеля; 1 — исполнение по взрывозащите нормальное Н.

Технические данные электроприводов приведены в табл. 10.3.

Основные технические данные электроприводов унифицированного ряда приведены в табл. 10.4.

Принципиальная электрическая схема управления электроприводами унифицированного ряда приведена на рис. 10.10.

Диаграмма работы микровыключателей приведена в табл. 10.5.

Таблица 10.5. Диаграмма работы микровыключателей

Обозначение	Номера контактов	Открыто	Промежуточное положение	Закрывается
S2	3—4	+	—	—
	1—2	—	+	+
S3	1—2	+	+	—
	3—4	—	—	+
S4	1—2	—	+	+
	3—4	+	—	—
S5	3—4	—	—	+
	1—2	+	+	—

Примечание. Знаком + обозначено замкнутое состояние контактов, знаком — разомкнутое.

10.4. Пневматические исполнительные устройства

Пневматические исполнительные устройства являются одновременно элементами системы автоматизации и трубопроводной системы. Выходным сигналом исполнительного устройства является расход вещества или энергии, поступающих в объект регулирования, входным — давление сжатого воздуха в диапазоне 20—100 кПа, формируемое управляющим механизмом. Широко применяются в пожаровзрывоопасных производствах. Пневматические исполнительные устройства состоят из мембранного или поршневого исполнительного механизма и регулирующего органа.

Устройство мембранного исполнительного механизма (МИМ) приведено на рис. 10.11. Мембранная камера состоит из верхней 5 и нижней 4 крышек, между которыми зажата формованная резиновая мембрана 6. Диаметр заделки и зависящая от него эффективная площадь мембраны определяют величину перестановочного усилия и являются основными конструктивными параметрами мембранного ИМ. Подвижная часть состоит из опорного диска 7, на который опирается мембрана, и штока 9 с соединительной гайкой 10. Пружина 8 охватывает шток и упирается верхним концом либо в опорный диск (ИМ прямого действия), либо в промежуточное кольцо-вставку (ИМ обратного действия), а нижним концом — через опорное кольцо 2 в регулирующую втулку 1 с помощью которой изменяют предварительное сжатие пружины. Нижняя крышка опирается на кронштейн 3.

Различают механизмы прямого и обратного действия. В механизмах прямого действия повышение давления в рабочей полости мембранной камеры отдалит свободный конец штока от плоскости заделки мембраны. В механизмах обратного действия повышение давления в рабочей полости приближает свободный конец штока к плоскости заделки мембраны. Эти два исполнения ИМ позволяют осуществить два требуемых вида исполнительного механизма — нормально открытое

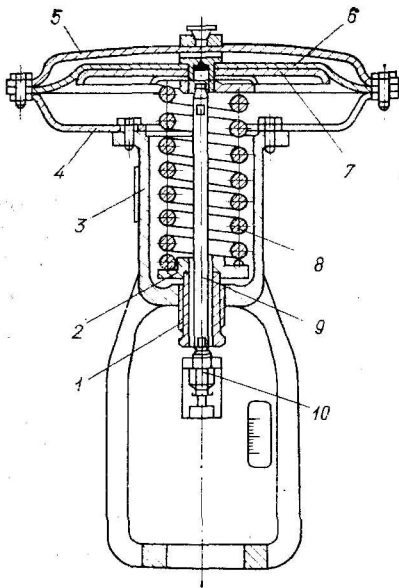
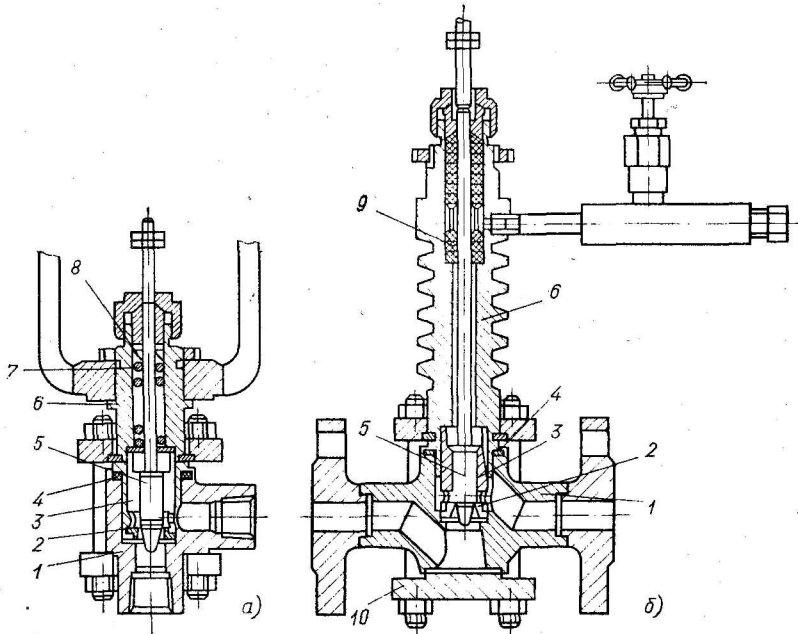


Рис. 10.11. Мембранный исполнительный механизм

Рис. 10.12. Односедельные регулирующие органы:

a — с угловым корпусом; *б* — с проходным корпусом; 1 — корпус; 2 — седло; 3 — направляющая втулка; 4 — прокладка; 5 — пробочный затвор; 6 — верхняя крышка; 7 — пружина; 8 — фторопластовые кольца; 9 — асбестовые кольца; 10 — нижняя крышка



(НО) и нормально закрытое (НЗ). При НО аварийное прекращение подачи сжатого воздуха в канале связи с управляющим устройством вызывает полное открытие прохода регулирующего органа. При НЗ с прекращением подачи воздуха проход регулирующего органа полностью закрывается. Выбор вида действия (НО или НЗ) исполнительного механизма определяется сравнением последствий аварийного отключения подачи сжатого воздуха.

Выпускаются МИМ ППХ (мембранный исполнительный механизм прямого действия прямоходный). Диаметр заделки мембраны — 320, 400, 500 мм. Ход штока 16, 25, 40, 60, 100 мм.

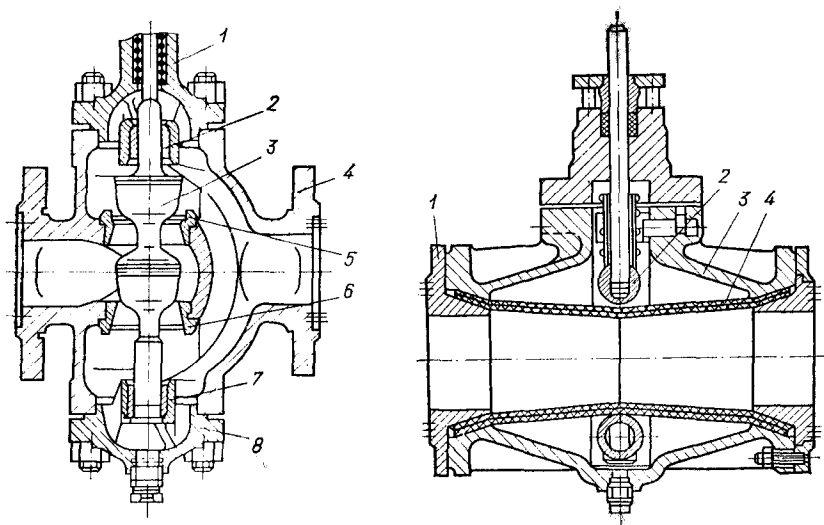


Рис. 10.13. Двухседельный регулирующий орган:

1 — верхняя крышка; 2, 7 — направляющие втулки; 3 — затвор; 4 — корпус; 5 — верхнее седло; 6 — нижнее седло; 8 — нижняя крышка

Рис. 10.14. Шланговый регулирующий орган:

1 — фланец; 2 — валик; 3 — корпус; 4 — эластичный патрубок — шланг

Дополнительные устройства и их обозначения: без дополнительных устройств (10), позиционер (02), позиционер и центральный дублер (05В).

Обозначение исполнительного механизма включает следующие элементы: тип прибора, вид действия, диаметр заделки мембраны, ход штока, наличие дополнительного устройства, например, МИМ-ППХ-320-25-10.

Исполнительные механизмы соединяются с регулирующими органами (РО), чаще — с дросселирующими.

По конструкции различают односедельные (рис. 10.12), двухседельные (рис. 10.13), шланговые (рис. 10.14), диафрагмовые (рис. 10.15), заслоночные (рис. 10.16) дросселирующие регулирующие органы.

По пропускной способности регулирующие органы (РО) подразделены на четыре группы: 1) РО больших расходов — РО заслоночные с условной пропускной способностью 40—25 000 м³/ч (условные проходы 50—1000 мм); 2) РО сред-

Таблица 10.6. Пневматические исполнительные устройства

Исполнительное устройство	Условное давление, МПа	Условный проход, мм	Условная пропускная способность, м³/ч	Температура среды, °С
Клапаны регулирующие двухседельные чугунные 25ч30нжМ, 25ч32нжМ	1,6	15; 20; 25; 40; 50; 80; 100; 150; 200; 250; 300	4; 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630; 1000; 1600; 2500	От -15 до +300
Клапаны регулирующие двухседельные И65092	4,0	250; 300	1600; 2500	От -15 до +300
Клапан регулирующий двухседельный для кислорода УФ65083	4,0	250	160	От -30 до +50
Клапаны регулирующие двухседельные стальные 25с40нжМ, 25с42нжМ	4,0	15; 20; 25; 40	4; 6,3; 10; 16; 25; 40	От -40 до +300
Клапаны регулирующие двухседельные нержавеющей 25нж40нжМ, 25нж42нжМ	4,0	15; 20; 25; 40	4; 6,3; 10; 16; 25	От -40 до +300
Клапаны регулирующие двухседельные нержавеющей сильфонные 25нж14нж, 25нж16нж	4,0	15; 20; 25; 40; 50; 80; 100; 150	4; 6,3; 10; 25; 40; 100; 160; 400	250
Клапаны регулирующие двухседельные кованные К-40; К-64; КР-40; КР-64; КЯ-40; КЯ-64; КРЯ-40; КРЯ-64	4,0; 6,4	15; 20; 25; 40; 50	5; 8; 14; 32; 50	От -40 до +200 (К, КЯ); 300—450 (КР, КРЯ)
Клапаны регулирующие двухседельные стальные 25с48нжМ, 25с50нжМ	6,4	15; 20; 25; 40; 50; 80; 100; 150; 200	4; 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630; 1000	От -40 до +300

Продолжение табл. 10.6

Клапаны регулирующие двухседельные нержавеющей 25нж48нж, 25нж50нж	6,4	15; 20; 25; 40; 50; 80; 100; 150; 200	4; 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630; 1000; 6300	От -40 до +300
Клапаны регулирующие двухседельные стальные с ребристой крышкой 25с52нж, 25с54нж	6,4	25; 80; 100; 150	6,3; 10; 100; 160; 250; 400; 630	До 450
Клапаны регулирующие двухседельные нержавеющей с ребристой крышкой 25нж52нж	6,4	80; 100; 150	100; 160; 250; 400; 630	До 540
Клапаны трехходовые смесительные 27ч5нж	0,6	50; 100	15; 62	От -15 до +150
Клапаны регулирующие шланговые КРШ	0,6	25; 32; 50	32; 50; 125	От -40 до +80
Клапаны регулирующие диафрагмовые РХ65231, РХ65231-03 (футеровка — полиэтилен)	0,3; 0,4; 0,6; 1,0	10; 15; 20; 25; 32; 40; 50; 80; 100	2; 3,2; 5; 8; 12,5; 20; 32; 80; 125	От -15 до +60
Клапаны регулирующие диафрагмовые РХ65231-06, РХ65231-09 (футеровка — фторопласт)	0,3; 0,4; 0,6; 1,0	10; 15; 20; 25; 32; 40; 50; 80; 100	2; 3,2; 5; 8; 12,5; 20; 32; 80; 125	От -15 до +110
Клапаны регулирующие диафрагмовые 25ч35эм1, 25ч36эм3	0,3; 0,4; 0,6; 1,0	15; 20; 25; 32; 40; 50; 65; 80; 100	3,2; 5; 8; 12,5; 20; 32; 50; 80; 125	От -20 до +120 (25ч35эм1), до +90 (25ч36эм)
Устройства исполнительные односедельные малых расходов ПОУ	6,4; 16,0	5; 6; 15; 20	0,1—4,0	От -40 до +225

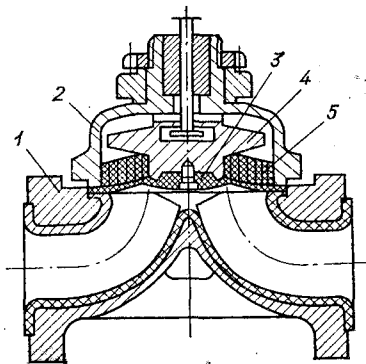


Рис. 10.15. Диафрагмовый регулирующий орган:

1 — корпус; 2 — крышка; 3 — диафрагма; 4 — крестовина; 5 — телескопическая опора

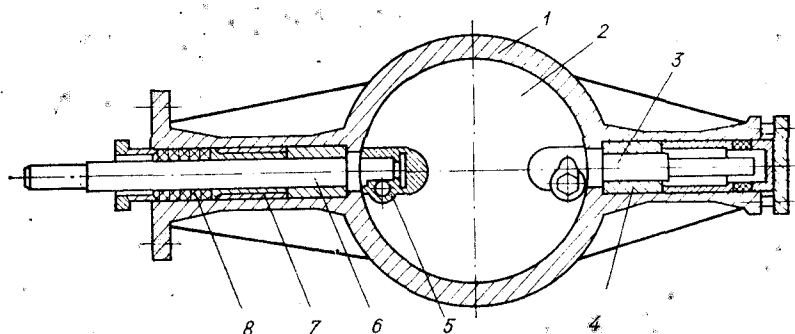


Рис. 10.16. Заслоночный регулирующий орган:

1 — кольцевой корпус; 2 — диск-затвор; 3 — ось; 4 — подшипник; 5 — палец; 6 — вал; 7 — втулка; 8 — сальник

них расходов — РО с условной пропускной способностью 2—5000 м³/ч (условные проходы 10—300 мм); 3) РО малых расходов — односедельные РО с условной пропускной способностью 0,1—4 м³/ч (условные проходы 6—25 мм); 4) РО микрорасходов — односедельные РО с затвором игольчатого типа с условной пропускной способностью 0,1 м³/ч и менее (условные проходы 10 мм и менее).

Номенклатура пневматических исполнительных устройств приведена в табл. 10.6.

10.5. Трубопроводная арматура

Наряду с электрическими и пневматическими устройствами ГСП, рассмотренными в пп. 10.2—10.4, в промышленности широкое применение находят различные дополнительные устройства трубопроводной арматуры разработки центрального конструкторского бюро арматуростроения (ЦКБА).

Трубопроводной арматурой называют устройства, монтируемые на трубопроводах, котлах, аппаратах, агрегатах, емкостях и других установках, предназначенные для управления потоками сред путем отключения трубопроводов или их участков, агрегатов, аппаратов, распределений потоков по требуемым направлениям, регулирования различных параметров среды (давления, расхода, температуры, уровня, состава и т. п.), выпуска среды по требуемому направлению. Уп-

равление потоком производится путем изменения проходного сечения в рабочем органе арматуры.

По функциональному назначению различают следующие классы арматуры: запорная, регулирующая, распределительная, предохранительная, защитная, фазоразделительная.

Запорная арматура предназначена для перекрытия потока среды. Регулирующая арматура предназначена для регулирования параметров рабочей среды. Распределительная арматура предназначена для распределения потока рабочей среды по определенным направлениям. Предохранительная арматура предназначена для предотвращения аварийного повышения давления в объекте путем автоматического выпуска избыточного количества среды. Защитная (отсечная) арматура предназначена для защиты оборудования от аварийных изменений параметров среды путем отключения обслуживаемой линии или участка. Фазоразделительная арматура служит для автоматического разделения различных фаз рабочей среды (жидкость, пар).

Различают управляемую арматуру с ручным приводом и с механическим (электрическим, пневматическим, гидравлическим, электромагнитным) приводом.

Условное обозначение арматуры по системе ЦКБА включает пять элементов, расположенных последовательно: 1) тип арматуры (цифровое обозначение — табл. 10.7); 2) материал корпуса (буквенное обозначение — табл. 10.8); 3) привод (первая цифра трехзначного числа — табл. 10.9); 4) конструкция по каталогу (вторая и третья цифры трехзначного числа для арматуры с приводом или двухзначное число для арматуры без привода); 5) материал уплотнительных колец (буквенное обозначение — табл. 10.10).

Таблица 10.7. Условные обозначения типов арматуры

Тип изделия	Условное обозначение	Тип изделия	Условное обозначение
Кран пробно-спускной	10	Клапан обратный поворотный	19
Кран для трубопровода	11	Регулятор давления «после себя» и «до себя»	21
Указатель уровня	12	Клапан запорный и отсечный	22
Вентиль	13, 14, 15	Клапан регулирующий	25
Клапан обратный подъемный или приемный	16	Задвижка	30, 31
Клапан предохранительный	17	Заслонка	32
		Конденсатоотводчик	45
Приводы, изготавливаемые отдельно от арматуры			
Привод с червячной передачей для ручного управления	33	Привод пневматический	66
		Привод гидравлический	77
Привод с цилиндрической передачей для ручного управления	44	Электропривод (моторный)	87
		Электромагнитный привод	88
Привод с конической передачей для ручного управления	55		

Обозначение материала внутренних покрытий (табл. 10.11) объединяется с обозначением материала уплотнительных колец.

Например, индекс 25ч931нж обозначает регулирующий клапан (25) чугунный (ч) с электроприводом (9) конструкции под номером 31 по каталогу ЦКБА, с уплотнительными кольцами из коррозионно-стойкой стали.

Т а б л и ц а 10.8. Условные обозначения материалов корпуса

Материал	Условное обозначение	Материал	Условное обозначение
Сталь углеродистая	с	Алюминий	а
Сталь легированная	лс	Монель-металл	мн
Сталь коррозионно-стойкая или нержавеющая	нж	Винипласт	вп
Чугун серый	ч	Пластмассы (кроме винипласта)	п
Чугун ковкий	кч	Фарфор	к
Латунь или бронза	Б	Титан	тн
		Стекло	ск

Т а б л и ц а 10.9. Условные обозначения привода арматуры

Привод	Условное обозначение	Привод	Условное обозначение
Механический:		Пневматический	6
с червячной передачей	3	Гидравлический	7
с цилиндрической зубчатой передачей	4	Электромагнитный	8
с конической зубчатой передачей	5	Электрический (электро-механический)	9

Т а б л и ц а 10.10. Условные обозначения материала уплотнительных колец

Материал	Условное обозначение	Материал	Условное обозначение
Латунь и бронза	бр	Кожа	к
Монель-металл	мн	Эбонит	э
Коррозионно-стойкая и нержавеющая сталь	нж	Резина	р
Нитрированная сталь	нт	Винипласт	вп
Баббит	бт	Пластмассы (кроме винипласта)	п
Стеллит	ст	Без вставных или наплавленных колец	бк
Сормайт	ср	Фторопласт	фт

Т а б л и ц а 10.11. Условные обозначения материала внутренних покрытий арматуры

Материал внутреннего покрытия	Условное обозначение
Резина	гм
Эмаль	см
Свинец	св
Пластмасса	п
Наирит	н

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ**11.1. Особенности применения ЭВМ
в автоматизированных системах управления**

Вычислительные средства автоматизации управления предназначены для создания автоматизированных систем управления (АСУ) цехами, службами, предприятиями, организациями, объединениями, отраслями и народным хозяйством в целом. В данном случае управление понимается как координация во времени и пространстве средств производства и рабочей силы.

АСУ — это человеко-машинная система, представляющая собой взаимосвязанный комплекс административных и экономико-математических методов контроля и управления, интегрированной информационно-нормативной документации, вычислительной и организационной техники, технических средств связи и комплекса законодательных и правовых актов, позволяющих осуществлять эффективное управление производственно-хозяйственной деятельностью разнообразных объектов.

На промышленных предприятиях можно выделить три вида АСУ: АСУ предприятием (АСУП), предназначенные для решения задач управления производственно-хозяйственной деятельностью промышленного предприятия, АСУ технологическими процессами (АСУТП), предназначенные для выработки и реализации управляющих воздействий на технологический объект управления в соответствии с принятым критерием управления, и интегрированные АСУ (ИАСУ), представляющие собой органическое объединение нескольких АСУ ТП между собой или с АСУП.

АСУ высших уровней: АСУ объединений (АСУО), АСУ отраслевых министерств и ведомств (ОАСУ), АСУ центральных и территориальных хозяйственных органов. В результате развития и объединения различных АСУ будет создана общегосударственная автоматизированная система управления ОГАС.

АСУТП имеют алгоритмы функционирования, жестко заданные аппаратурным или программным способом. Они характеризуются большим количеством связей непосредственно с технологическим процессом в управляемом объекте и технических средств, реализующих эти связи, широким применением автономных контуров регулирования, работающих в автоматическом режиме.

АСУ высших уровней относятся к классу организационно-экономических систем и не могут работать полностью в автоматическом режиме. Ключевые функции в них выполняются человеком. Технические средства осуществляют сбор, анализ и обработку информации. Для построения АСУП, АСУО, ОАСУ и других применяют в основном одни и те же технические средства. Технические средства данных АСУ предназначены как для управления технологическими процессами, так и для организационно-экономического управления.

Вычислительные средства АСУ входят в агрегатные комплексы средств вычислительной техники: АСВТ-М, СМ ЭВМ и ЕС ЭВМ. В соответствии с назначением вычислительные средства можно разделить на две группы: управляющие вычислительные машины (УВМ) и универсальные ЭВМ (рис. 11.1). УВМ применяют в АСУТП, универсальные ЭВМ — в АСУ организационно-экономического типа.

Для построения АСУ организационно-экономического типа широко применяют ЭВМ единой серии ЕС ЭВМ: ЕС-1020, ЕС-1030, ЕС-1040, ЕС-1050, ЕС-1060

и др. Основой ЭВМ, предназначенной для этих целей в составе ГСП, является управляющий вычислительный комплекс (УВК) типа М-4030, входящий в АСВТ. Для решения задач меньшей размерности применяют управляющие вычислительные комплексы СМ ЭВМ. Для обработки больших массивов информации экономического характера в составе агрегатного комплекса АСВТ-М предусмотрен перфорационный вычислительный комплекс (ПВК) типа М-5000.

Применение ЭВМ в системах управления технологическими процессами позволило не только решить задачи, связанные с увеличением масштабов объектов и систем управления, но и открыло ряд принципиально новых возможностей, не реализуемых другими средствами:

1) оптимизация управления в ходе процесса, т. е. выбор наиболее эффективных с точки зрения различных показателей воздействий на объект из ряда

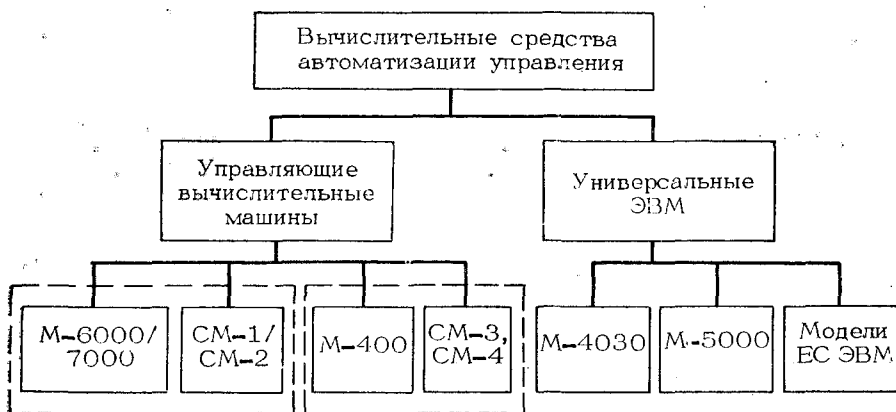


Рис. 11.1. Структура вычислительных средств автоматизации управления

возможных действий, в том числе при изменении качества сырья, внешних условий, характеристик оборудования;

2) управление объектом на основании результатов упреждающего во времени анализа поведения объекта по его математической модели, хранящейся в памяти ЭВМ; при этом модель объекта может непрерывно уточняться в соответствии с текущими изменениями характеристик объекта;

3) управление на основе распознавания критических ситуаций (при сложности или отсутствии математической модели) путем быстрого перебора большого числа логических условий, характеризующих различные сочетания параметров объекта, и выбора опасных сочетаний;

4) управление при неполной информации об объекте, например, когда модель объекта в целом или отдельных процессов построить не удастся (доменный процесс, конвертерная выплавка стали). Существующие методы теории игр, реализуемые на ЭВМ, позволяют управлять объектом с определенной эффективностью. В простейшем случае — это управление по косвенно измеряемым параметрам процесса, когда основные параметры (например, содержание угле-

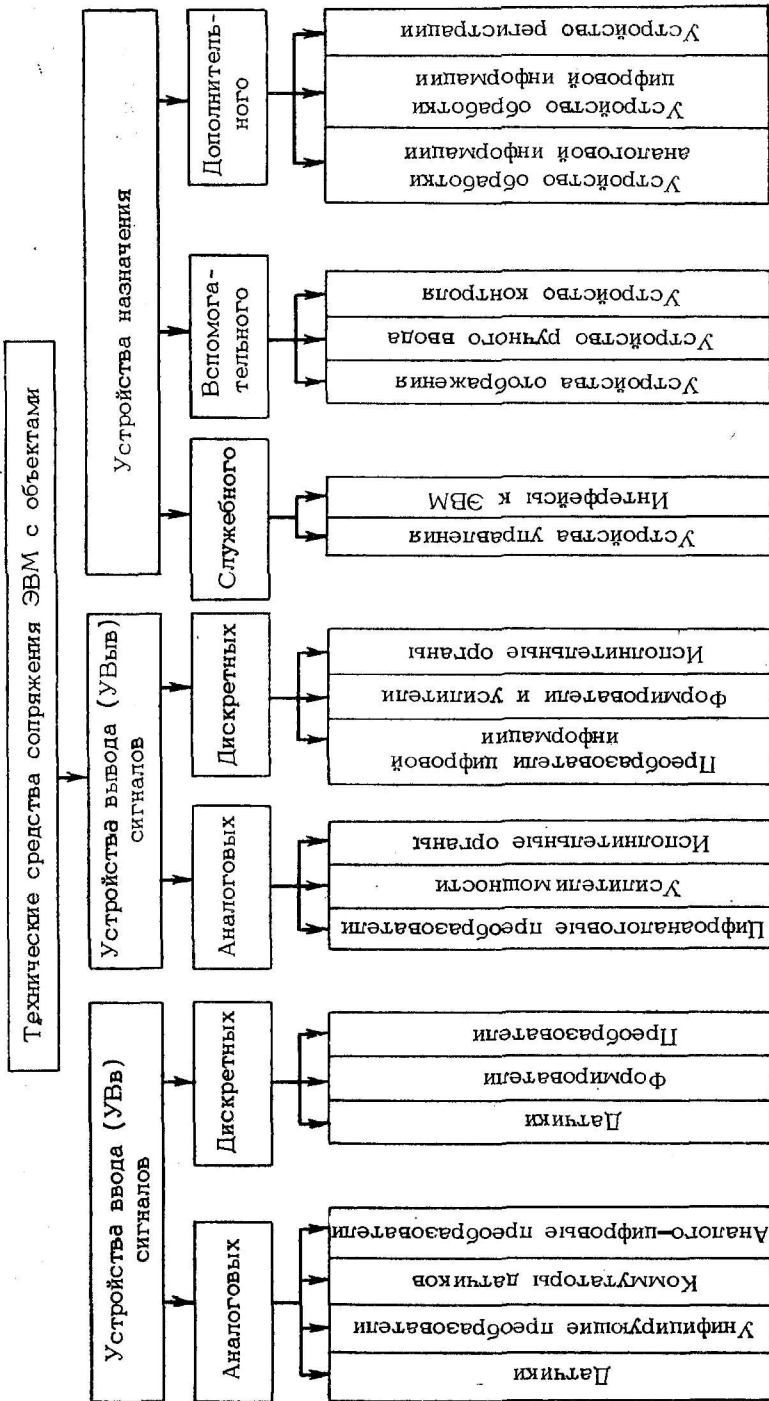


Рис. 11.2. Классификация технических средств сопряжения ЭВМ с объектами

рода в стали и температуру ванны в конвертере) не удастся измерить, а они непрерывно вычисляются в ходе процесса по косвенным, связанным с ними параметрам, и управление ведется по вычисляемым характеристикам;

5) управление при автоматической самонастройке системы управления в зависимости от изменяющихся условий на объекте управления или с накоплением информации об объекте: в простейшем случае это изменение некоторых характеристик системы при сохранении ее структуры; в более сложных случаях может изменяться структура связей между отдельными блоками системы управления.

Кроме решения задач управления на новом, качественно более высоком техническом уровне, характеризуемом перечисленными выше возможностями, сов-

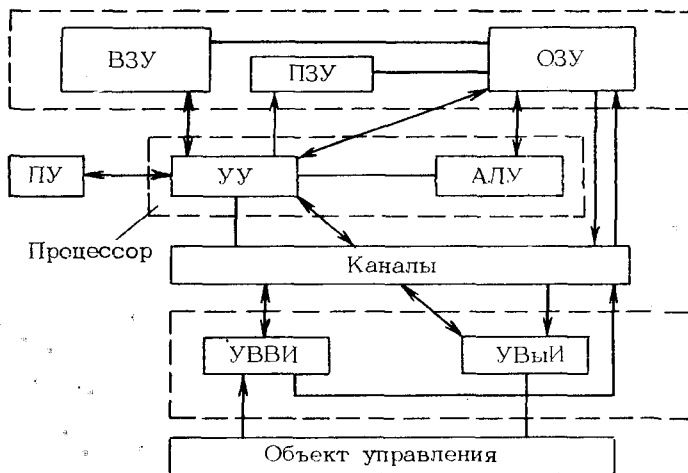


Рис. 11.3. Структурная схема УВК

ременная ЭВМ в составе АСУТП позволяет одновременно выполнять и ряд учетно-статистических работ, связанных с экономическими показателями управляемого производства.

В автоматизированных системах управления информационный контакт между ЭВМ и объектом управления осуществляется с помощью датчиков и исполнительных органов, которые подключаются к ЭВМ с помощью специальных технических средств сопряжения. Технические средства сопряжения ЭВМ с объектами включают разнообразный набор преобразователей (рис. 11.2), из которых строят необходимые подсистемы сопряжения — устройства связи с объектами.

Основные функции устройств связи с объектами: преобразование непрерывных (аналоговых) сигналов, поступающих от датчиков в цифровой код; преобразование цифровых кодов ЭВМ в непрерывные (аналоговые) сигналы для управления исполнительными органами, формирование сигналов дискретных датчиков и ввод их в ЭВМ и вывод их на исполнительные органы и т. д.).

Основной элемент любого устройства ввода в ЭВМ аналоговых сигналов — аналого-цифровые преобразователи (АЦП). В состав АЦП входят следующие узлы: узел эталонных величин, узел сравнения и управляющий цифровой автомат. Аналоговый сигнал с датчика поступает на вход сравнивающего узла АЦП. На второй вход сравнивающего узла в определенной последовательности подаются эталонные величины, вырабатываемые узлом эталонных величин. Сравнивающий узел выдает последовательность кодовых комбинаций, соответствующих входному аналоговому сигналу.

По принципу действия и алгоритму функционирования АЦП делятся на следующие типы: АЦП считывания, АЦП развертывающего типа, АЦП поразрядного типа.

Преобразование цифровых кодов, поступающих на ЭВМ, в аналоговые сигналы осуществляется с помощью цифроаналоговых преобразователей (ЦАП) или преобразователей типа код—аналог (ПКА). В современных устройствах вывода аналоговых сигналов применяются преобразователи кода в различные электрические величины: напряжение (ПКН), ток (ПКТ), частоту (ПКЧ), фазовый сдвиг (ПКФ), длительность импульса (ПКД) и т. д. Преобразователи кода в аналоговые величины строят либо по принципу суммирования физических величин, либо по принципу деления некоторой опорной физической величины.

В ЭВМ вводятся также сигналы дискретных состояний объекта, поступающие с датчиков-сигнализаторов. Существуют следующие виды ввода дискретных сигналов: двухпозиционные, кодированные и число-импульсные. Устройства вывода дискретных сигналов предназначены для выдачи на объект из ЭВМ дискретных управляющих воздействий.

11.2. Управляющие вычислительные комплексы

Несмотря на большое количество видов объектов и систем управления, можно выделить ограниченное число типовых функций систем управления технологическими процессами: 1) информационные функции; 2) предупредительная и аварийная сигнализация; 3) функции управления; 4) оперативная корректировка сменных и суточных заданий и некоторые другие.

Данные типовые функции систем управления включают в себя операции приема и формирования сигналов ввода, вывода, распределения и хранения информации, вычислительные операции и операции управления всем процессом переработки информации. Для реализации указанных операций строят управляющие вычислительные комплексы (УВК) из набора отдельных функциональных модулей (блоков), каждый из которых может автономно выполнять вполне определенные функции. На рис. 11.3 показаны структурная схема и порядок работы основных узлов УВК. Пульт управления (ПУ) предназначен для организации взаимодействия оператора-технолога с машиной: включения и выключения, организации режима работы машины и т. д. Процессор — центральная часть УВК. Он обеспечивает выполнение обработки информации в соответствии с программами математического обеспечения УВК, управление всем вычислительным процессом и организует взаимодействие всех устройств комплекса. Устройство управления (УУ) процессора управляет всеми устройствами УВК, а арифметико-логическое устройство (АЛУ) предназначено для выполнения арифметических операций и логических преобразований информации, поступаю-

шей из памяти УВК. Память УВК состоит из оперативного и постоянного запоминающих устройств (ОЗУ и ПЗУ) и внешнего запоминающего устройства (ВЗУ).

ОЗУ строятся на ферритовых сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса, на магнитных пленках, начинают осваивать ОЗУ на интегральных микросхемах. Элементы памяти ОЗУ состоят из отдельных ячеек, содержащих некоторое число элементов (обычно в УВК 8 или 16) и предназначенных для хранения одного машинного слова (обычно 1 слово=2байт=16 двоичных разрядов). Емкость ОЗУ определяется количеством машинных слов, которые можно хранить одновременно. В больших УВК емкость ОЗУ достигает сотен тысяч слов. В современных УВК оперативная память выполнена по модульному принципу. Каждый модуль ОЗУ содержит определенное число ячеек (обычно 1024). Время обращения или операции записи слова и считывания его колеблется от долей микросекунды до десяти микросекунд.

ПЗУ предназначены для хранения программ, которые редко меняются в процессе эксплуатации АСУ ТП. Наибольшее распространение получили транс-

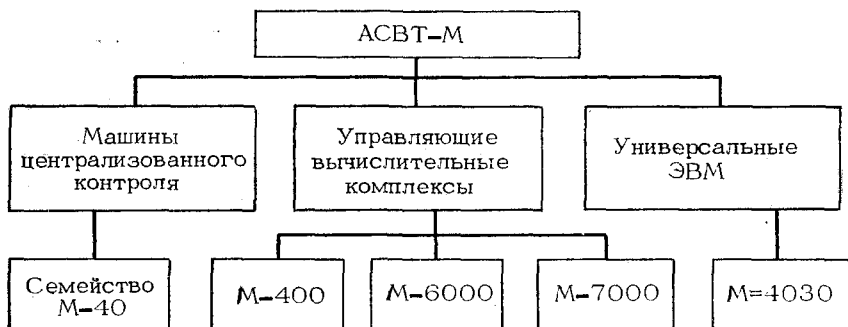


Рис. 11.4. Структура АСВТ-М

форматорные ПЗУ на магнитных сердечниках. Запоминание информации в них осуществляется за счет специальной прошивки сердечников обмоткой. Время обращения современных ПЗУ составляет 1—3 мкс, емкость — до сотен тысяч машинных слов. ПЗУ строят также по модульному принципу.

ВЗУ строят на различных магнитных носителях, магнитных лентах или магнитных головках. Емкость ВЗУ в сотни раз больше емкости ОЗУ. Магнитная лента представляет собой носитель с последовательным доступом к информации. Время поиска достигает нескольких минут. На магнитной ленте до девяти информационных дорожек. На одну бобину может быть записано более 20 млн. байт информации. Магнитные диски представляют собой тонкие алюминиевые диски, покрытые с обеих сторон ферромагнитным материалом, которые собираются в пакеты до 10 дисков. Диск содержит с каждой стороны до 200 информационных дорожек. Магнитные диски — это носители с произвольным доступом к информации. Время поиска составляет 20—60 мс. Ввод в память УВК исходных данных осуществляется с помощью устройств ввода информации (УВВИ). При ручном вводе информация формируется человеком и вводится с помощью телетайпов, электрифицированных печатающих машинок и других

Таблица 11.1. Основные технические данные дисплейных модулей

Наименование характеристики	СИД-1000	«Видеотон-340»	ДМ-500	ДМ-2000
Размеры изображения, мм	240×240	140×200	100×140	180×250
Количество строк	16	16	16	16
Количество символов в строке	64	80	32	80
Число алфавитно-цифровых символов (русский и латинский алфавиты, цифры, специальные знаки)	95	95	95	95
Размер символа (высота, ширина), мм	4×2,4; 3,6	—	4×3	4×3
Количество символов на экране	1024	1280	512	1920
Габарит, мм	1165× ×1103×807	661×390× ×352	390×370× ×720	480×455× ×720

устройств. При автоматическом вводе информация вводится с перфолент и перфокарт с помощью фотосчитывающих устройств, т. е. с промежуточного носителя. В последнее время в качестве промежуточного носителя применяют гибкие магнитные диски.

Вывод информации из УВК осуществляется с помощью устройства вывода (УВВИ), представляющего результаты обработки данных на цифровых индикаторных лампах, на промежуточных носителях (перфолентах, перфокартах), в отпечатанном виде (телетайп, печатающие машинки, устройства широкой печати), на экране электронно-лучевой трубки (дисплеи, электронные пульты).

Одним из наиболее совершенных средств связи оператора с системой управления, позволяющим реализовать диалог «человек—машина», является дисплейная техника. Устройства дисплейной техники включают в себя электронно-лучевой индикатор, пульт управления и блоки для обеспечения обмена информацией с ЭВМ. Устройства дисплейной техники: станция индикации данных типа СИД-1000 и дисплейные модули типов «Видеотон-340», ДМ-500, ДМ-2000. Основные технические характеристики данных устройств приведены в табл. 11.1.

Для обмена символьной информацией предназначена станция индикации графических данных типа СИГД. Символьная информация может быть представлена в виде точек, окружностей, отрезков прямых, дуг, специальных символов.

Организация работы УВК осуществляется с помощью различных видов программ, хранящихся в памяти ЭВМ или вводимых в нее с различных носителей. Программное обеспечение УВК играет значительную роль и по трудоемкости разработки примерно соответствует разработке аппаратуры. Оно разделяется на системное (или внутреннее) и прикладное (или внешнее).

11.3. Агрегатный комплекс средств вычислительной техники ГСП

Агрегатный комплекс средств вычислительной техники (АСВТ) представляет собой набор агрегатных устройств, предназначенных для компоновки проек-

ным путем информационных, информационно-управляющих, информационно-вычислительных комплексов. Современный комплекс АСВТ-М представляет собой конструктивно и функционально законченное изделие с унифицированными входами и выходами. Вся номенклатура агрегатных модулей АСВТ-М по функциональному назначению делится на устройства центрального управления и переработки информации, хранения информации, связи с объектом, связи с оперативным персоналом, внутрисистемной связи, выхода на внешние (внесистемные) линии связи, согласователи. Наиболее широкое распространение в АСУ ТП в последние годы нашли модели, показанные на рис. 11.4.

Машины централизованного контроля и управления семейства М-40 предназначены для сбора, первичной обработки и регистрации информации, многоканального двухпозиционного регулирования, выхода информации на цифровые индикаторы и электронно-лучевые трубки.

Технические характеристики

Погрешность представления информации оператору на цифровом индикаторе, %	Не более 1
Суммарное время коммутации аналого-цифрового преобразования, масштабирования и сравнения с уставками одного канала, мс:	
для сигналов низкого уровня	Не более 7,5
для сигналов высокого уровня	Не более 1
Погрешность коммутации и аналого-цифрового преобразования, %:	
для сигналов низкого уровня	Не более 0,5
для сигналов высокого уровня	Не более 0,2
Способ хранения установок	Наборное штекерное поле
Количество установок на каждый параметр	До 4
Код задания установок	Двоично-десятичный
Питание от трехфазной сети:	
Напряжение, В	380/220
Частота, Гц	50
Потребляемая мощность, кВт·А	8
Габариты шкафа, мм	600×600×1600
Условия эксплуатации:	
Температура окружающей среды, °С	5—40
Относительная влажность воздуха при 30 °С, %	80
Атмосферное давление, мм рт. ст.	760

Наиболее распространенными управляющими вычислительными комплексами из серии АСВТ-М являются комплексы М-6000 и М-7000. Они имеют наиболее развитую и совершенную систему связи с объектами управления и оперативным персоналом, широкую систему команд и достаточно полное внутреннее математическое обеспечение, высокую надежность, простоту и удобство эксплуатации.

Технические характеристики М-6000

Среднее время выполнения операций над 16-разрядными операндами, мкс:	
сложения	5
умножения	43
деления	57
Главная память:	

емкость, 16-разрядные слова	32 768
цикл, мкс	2,5
Система команд	Одноадресная
Способ представления чисел	С фиксированной и плавающей запятой
Система счисления	Двоичная
Питание от трехфазной сети:	
напряжение, В	380/220
частота, Гц	50
Занимаемая площадь, м ²	50
Условия эксплуатации:	
температура окружающего воздуха, °С	10—35
относительная влажность при температуре 30 °С, %	80
атмосферное давление, мм рт. ст.	760

Технические характеристики М-7000

Среднее время выполнения операций над 16-разрядными операндами, мкс:	
сложения	2,5
умножения	11—29
деления	18—32
Оперативное запоминающее устройство:	
емкость, 18-разрядные слова	16 384—131 072
цикл, мкс	1,2
Система команд	Одноадресная
Способ представления чисел	С фиксированной и плавающей запятой
Система счисления	Двоичная
Питание от трехфазной сети:	
напряжение, В	380/220
частота, Гц	50
Занимаемая площадь, м ²	50
Условия эксплуатации:	
температура окружающего воздуха, °С	10—35
относительная влажность при температуре 30 °С, %	80
атмосферное давление, мм рт. ст.	760

Управляющий вычислительный комплекс М-400 относится к классу мини-ЭВМ. Он применяется в системах автоматизации научных исследований, управления технологическими объектами и характеризуется тем, что все устройства комплекса объединены с помощью единого интерфейса, называемого общей шиной.

Технические характеристики

Среднее время выполнения операций над 16-разрядными операндами, мкс:	
сложения, вычитания, сравнения, пересылки (регистр — регистр)	4,3
сложения, вычитания, сравнения, пересылки (память — регистр)	7,2
команд переходов	3
Оперативная память:	
емкость, кбайт	16—32
цикл, мкс	1,2
Система команд	Стандартный набор команд, включающий 65 команд
Способ представления чисел	С фиксированной и плавающей запятой
Система счисления	Двоичная

Питание от трехфазной сети:	
напряжение, В	380—220
частота, Гц	50
Потребляемая мощность, кВт·А	1,5
Занимаемая площадь, м ²	27
Условия эксплуатации:	
температура окружающего воздуха, °С	15—35
относительная влажность воздуха при температуре 30 °С, %	До 80
атмосферное давление, мм рт. ст.	До 785

Управляющая вычислительная машина М-4030 представляет собой наиболее производительный и развитый вычислительный комплекс средств АСВТ. Она предназначена для решения задач диспетчеризации производства, технико-экономического планирования, материально-технического снабжения, в системах автоматизации физического эксперимента, АСУТП, АСУП и т. д. Отличительными особенностями М-4030 являются: более обширная система команд, высокая производительность вычислительных операций, большая емкость оперативной и внешней памяти, наличие средств обработки алфавитно-цифровой информации.

Технические характеристики

Среднее время выполнения операций над 32-разрядными словами, мкс:	
сложения с фиксированной запятой	6,35
умножения с фиксированной запятой	18,2
сложения с плавающей запятой	13,5
коротких операций	3,5
Оперативная память:	
емкость, кбайт	128—512
цикл, мкс	0,5
Система команд	Совокупность систем команд АСВТ-М и ЕС ЭВМ
Система счисления	Двоичная и десятичная
Способ представления чисел	С фиксированной и плавающей запятой
Мультиплексный канал:	
количество	1
скорость передачи данных, кбайт/с:	
в мультиплексном режиме	50
в селекторном режиме	140
Селекторный канал:	
количество	3
скорость передачи данных, кбайт/с	До 1000
Питание от трехфазной сети:	
напряжение, В	380—220
частота, Гц	50
Потребляемая мощность, кВт·А	25
Занимаемая площадь, м ²	110
Условия эксплуатации:	
температура окружающего воздуха, °С	10—35
относительная влажность воздуха при температуре 30 °С, %	До 90
атмосферное давление, мм рт. ст.	До 800

11.4. Система малых ЭВМ

Появление новой элементной базы, позволяющей получить достаточно высокие технические характеристики при сравнительно низкой стоимости, обусловило развитие малых управляющих вычислительных машин. Страны—члены СЭВ с 1975 г. приступили к созданию, а с 1978 г. к серийному выпуску комплекса средств вычислительной техники в классе малых машин. Международная система малых ЭВМ (СМ ЭВМ) создается как агрегатная система технических и программных средств вычислительной техники, нормативного, методического и эксплуатационного обеспечения и стандартов. Она предназначена для построения УВК, используемых в АСУ ТП, в системах автоматизации научных исследований и эксперимента, проектирования, для выполнения научных и инженерных расчетов.

Первое поколение СМ ЭВМ имеет два ряда процессоров различной производительности, обеспечивающих преемственность по архитектуре с семействами УВК М-400 и М-6000 АСВТ-М соответственно. УВК СМ-1 и СМ-2 komponуются на базе процессоров СМ-1П и СМ-2П из агрегатных модулей номенклатуры М-6000, М-7000 АСВТ-М. Эти комплексы имеют полную программную совместимость с УВК М-7000 и одностороннюю программную совместимость на уровне перемещаемых программ с семействами М-6000, а также полную совместимость с УВК М-6000, М-7000 по интерфейсу ввода-вывода. По ряду технических параметров и возможностям комплексы СМ-1 и СМ-2 идентичны УВК М-6000 и

Таблица 11.2. Сравнительная характеристика УВК М-6000, СМ-1, М-7000, СМ-2

Характеристика	М-6000	СМ-1	М-7000	СМ-2
Максимальный объем оперативной памяти, кбайт	64	64	256	256
Объем микропрограммной памяти, байт	—	8	8	16
Число адресуемых рабочих регистров:				
в программе, без учета регистра номера команд, регистров баз, защиты и т. д.	2	4	4	4
в микропрограмме	—	30	7	17
Время выполнения основных операций, мкс:				
сложения с фиксированной запятой	5	2,5	2,5	2,5
умножения с фиксированной запятой	43	36,6	11	10
сложения с плавающей запятой	—	—	35	18—40
умножения с плавающей запятой	—	—	35	23
передачи управления	2,5	2,5	1,6	1,8
Максимальная скорость канала прямого доступа в память, кслов	400	250	340	700
Возможность проблемной ориентации системы команд	Нет	Есть	Есть	Есть
Автоматический рестарт	Нет	Есть	Нет	Есть
Возможность встраивания в установки, приборы	Нет	Есть	Нет	Нет
Агрегатность конструктивного исполнения	Нет	Есть	Нет	Есть

М-7000, а по некоторым значительно превосходят их (табл. 11.2). При этом они имеют малые габариты и более низкую стоимость.

Программное обеспечение СМ-1 и СМ-2 построено по агрегатно-модульному принципу, гибкость которого позволяет компоновать программные системы в соответствии с требуемыми режимами работы и вычисляемыми функциями. Причем на СМ-1 и СМ-2 может быть выполнена любая системная программа, написанная для М-6000 и М-7000.

Второе поколение СМ ЭВМ представляют УВК СМ-3 и СМ-4, которые komponуются на базе процессоров, обеспечивающих преемственность архитектуры с семейством М-400 АСВТ-М. Все устройства и сам процессор подключены к общему последовательно-параллельному быстродействующему каналу обмена (общей шине). Универсальность такого подключения позволяет достаточно просто организовать внепроцессорные обмены информацией устройств как между собой, так и с оперативной памятью. В состав базового комплекта СМ-3 входят следующие устройства: процессор СМ-3П, оперативная память (объем до 56 кбайт), перфоленточное устройство ввода-вывода МПР 51/301, устройство

Таблица 11.3. Сравнительные характеристики комплексов М-400, СМ-3, СМ-4

Характеристика	М-400	СМ-3	СМ-4
Управление комплексом		Микропрограммное	
Тип процессора		Параллельный	
Число универсальных регистров	8	8	8
Тип интерфейса		Общая шина	
Пропускная способность интерфейса в режиме прямого доступа, тыс. слов/с	700	700	800
Система прерывания		Приоритетная пятиуровневая	
Оперативная память:			
максимальный объем оперативной памяти, кбайт	56	56	248
адресуемая единица памяти		Байт, слово	
время цикла, мкс	1,2	1,2	1,2
страничная организация памяти	Нет	Нет	Есть
аппаратный стек	Есть	Есть	Есть
диспетчер памяти	Нет	Нет	Есть
емкость диспетчера памяти, кбайт	—	—	256
Количество видов адресации	12	12	12
Время выполнения команд, мкс:			
регистр — регистр	3,5	5,0	1,2
регистр — память	6,5	7,0	2,5
память — память	15	10	3,9
умножение с плавающей запятой	—	—	35,0
сложение с плавающей запятой	—	—	22,0
умножение с фиксированной запятой	—	—	10,2
сложение с фиксированной запятой	35—40	25—27	13,0
Представление арифметических операндов		С фиксированной запятой в дополнительном коде	С фиксированной запятой в дополнительном коде и с плавающей запятой

ввода и отображения информация на базе дисплея «Видеотон-340», устройство алфавитно-цифровой печати последовательного типа «Даро-1156» или ДЗМ-180, устройство внешней памяти на магнитных дисках ИЗОТ-1370—И12. Сравнительные характеристики комплексов СМ-3, СМ-4 и М-400 приведены в табл. 11.3.

Программное обеспечение УВК СМ-3 и СМ-4 строится как универсальная, многоцелевая система, включающая в себя перфоленточную и дисковую операционные системы, средства программирования и отладки, пакеты прикладных программ. В СМ-3 могут использоваться прикладные программы, разработанные для УВК М-400.

11.5. Единая система электронных вычислительных машин

В системах управления наряду с управляющими вычислительными машинами для различных целей применяются универсальные вычислительные машины. В настоящее время применяется единая система электронных вычислительных машин (ЕС ЭВМ) общего назначения, которая представляет собой комплекс программно-совместимых стационарных ЭВМ третьего поколения. Разработка ЕС ЭВМ проводилась совместно со странами социалистического содружества. Отечественная промышленность выпускает следующие модели ЕС ЭВМ.

Одной из младших моделей ЕС ЭВМ является электронная цифровая вычислительная машина ЕС-1020.

Технические характеристики ЕС-1020

Среднее время выполнения операций над словами, мкс:	
сложения, вычитания с фиксированной запятой	20—30
сложения, вычитания с плавающей запятой	50—70
умножения с фиксированной запятой	220—350
умножения с плавающей запятой	480
деления с фиксированной запятой	400
деления с плавающей запятой	400
коротких операций (логических и управляющих)	20—30
Оперативная память:	
емкость, кбайт	60—256
цикл, мкс	2
Мультиплексный канал:	
количество	1
скорость передачи данных, кбайт/с:	
режим мультиплексный	До 16
режим монопольный	До 100
Селекторный канал:	
количество	2
скорость передачи данных, кбайт/с	300
Потребляемая мощность, кВт	Не более 21
Занимаемая площадь, м ²	100

Минимальный состав ЭВМ ЕС-1020

Процессор ЕС-2020	1
Накопитель на магнитной ленте ЕС-5010-01	4
Накопитель на сменных магнитных дисках ЕС-5056 (ЕС-5052)	2
Устройство управления накопителями на магнитной ленте ЕС-5511	1
Устройство управления накопителями на сменных магнитных дисках ЕС-5551	1
Устройство ввода с перфокарт ЕС-6012	1

Устройство ввода с перфоленты ЕС-6022	1
Устройство вывода на перфокарты ЕС-7010	1
Устройство вывода на перфоленту ЕС-7022	1
Печатающее устройство ЕС-7032	1
Пишущая машинка с блоком стандартного сопряжения с каналом ЕС-7077	1
Устройство подготовки данных на перфокартах ЕС-9011	2
Устройство подготовки данных на перфоленте ЕС-9020	2

Улучшенной моделью ЕС ЭВМ является ЕС-1022. Производительность ЕС-1022 в 6 раз выше, чем у модели ЕС-1020.

Технические характеристики ЕС-1022

Среднее время выполнения операций над словами, мкс:	
сложения, вычитания с фиксированной запятой	3,3—6,0
сложения, вычитания с плавающей запятой	14—18
умножения с фиксированной запятой	29—32
умножения с плавающей запятой	39—42
деления с фиксированной запятой	65—68
деления с плавающей запятой	60
коротких операций	3,3—6,0
Оперативная память:	
емкость, кбайт	256—512
цикл, мкс	2,2
время выборки, мкс	1
Мультиплексный канал:	
количество	1
количество подканалов	128
скорость передачи данных, кбайт/с:	
режим мультиплексный	До 80
режим монополярный	До 400
Селекторный канал:	
количество	2
скорость передачи данных, кбайт/с	До 700
Потребляемая мощность, кВт·А	Не более 25
Занимаемая площадь, м ²	108

Минимальный состав ЕС-1022

Процессор ЕС-2622 с оперативной памятью 256 или 512 кбайт	1
Накопитель на магнитной ленте ЕС-5017 или ЕС-5012	4
Накопитель на сменных магнитных дисках ЕС-5056М, ЕС-5052 или ЕС-5050	2 или 4
Устройство управления накопителями на магнитной ленте ЕС-5517	1
Устройство управления накопителями на магнитных дисках ЕС-5551М	1
Устройство ввода с перфокарт ЕС-6012	1
Устройство вывода на перфокарты ЕС-7010	1
Устройство ввода с перфоленты ЕС-6022	1
Устройство вывода на перфоленту ЕС-7022	1
Печатающее устройство ЕС-7032	1
Пишущая машинка с блоком стандартного сопряжения с каналом ЕС-7077	1
Устройство подготовки данных на перфокартах ЕС-9011	2
Устройство подготовки данных на перфоленте ЕС-9024 (ЕС-9020)	1

Одной из средних моделей ЕС ЭВМ является вычислительная машина ЕС-1030.

Технические характеристики ЕС-1030

Среднее время выполнения операций над словами, мкс:	
сложения, вычитания с фиксированной запятой	7—11
сложения, вычитания с плавающей запятой	10—14
умножения с фиксированной запятой	32—37
умножения с плавающей запятой	27—33
деления с фиксированной запятой	88—93
деления с плавающей запятой	47—51
коротких операций	5—10
Оперативная память:	
емкость, кбайт	128—512
цикл, мкс	1,5
Мультиплексный канал:	
количество	1
скорость передачи данных, кбайт/с:	
режим мультиплексный	40
режим монопольный	До 300
Селекторный канал:	
количество	3
скорость передачи данных, кбайт/с	800
Потребляемая мощность, кВт·А	25
Занимаемая площадь, м ²	100

Минимальный состав ЕС-1030

Процессор ЕС-2030	1
Каналы ЕС-4430	1
Оперативная память ЕС-3203	1
Накопитель на магнитной ленте ЕС-5010-01	4
Накопитель на сменных магнитных дисках ЕС-5056	2
Устройство управления накопителями на магнитной ленте ЕС-5511	1
Устройство ввода с перфокарт ЕС-6012	1
Устройство ввода с перфоленты ЕС-6022	1
Устройство вывода на перфокарты ЕС-7010	1
Устройство вывода на перфоленту ЕС-7022	1
Печатающее устройство ЕС-7032	1
Пишущая машинка с блоком стандартного сопряжения с каналом ЕС-7077	1
Система питания ЕС-1030/С002	1
Устройство подготовки данных на перфокартах ЕС-9011	2
Устройство подготовки данных на перфоленте ЕС-9020	2

На базе модели ЕС-1030 создана электронная цифровая вычислительная машина ЕС-1033. В ней использованы микросхемы средней степени интеграции, что повысило ее технические и экономические параметры.

Технические характеристики ЕС-1033

Среднее время выполнения операций над словами, мкс:	
сложение, вычитание с фиксированной запятой	1,4—2,7
сложение, вычитание с плавающей запятой	4,5
умножение с фиксированной запятой	8,5
умножение с плавающей запятой	9,5
деление с фиксированной запятой	14,6
деление с плавающей запятой	1,4—2,7
коротких операций	17,7
Оперативная память:	
емкость, кбайт	256—512
цикл, мкс	1,2
время выборки, мкс	0,7

Мультиплексный канал:	
количество	I
количество подканалов	32 с расширением до 256
скорость передачи данных, кбайт/с:	
в мультиплексном режиме	50
в монопольном режиме	300
Селекторный канал:	
количество	3
скорость передачи данных, кбайт/с	800
Потребляемая мощность, кВт·А	Не более 40
Занимаемая площадь, м ²	120

Минимальный состав ЭВМ ЕС-1033

Процессор-каналы ЕС-2433	1
Оперативная память ЕС-3207 (ЕС-3203)	2
Накопитель на магнитной ленте ЕС-5017 (ЕС-5012-01)	4
Накопитель на сменных магнитных дисках ЕС-5056M (ЕС-5050 или ЕС-5052)	4
Устройство управления накопителями на магнитной ленте ЕС-5517	1
Устройство управления накопителями на сменных магнитных дисках ЕС-5551M	1
Устройство ввода с перфокарт ЕС-6012	1
Устройство ввода с перфоленты ЕС-6022	1
Устройство вывода на перфокарты ЕС-7010	1
Устройство вывода на перфоленту ЕС-7022	1
Печатающее устройство ЕС-7032	1
Пишущая машинка с блоком управления ЕС-7077	1
Система питания ЕС-1033/С000	1
Устройство подготовки данных на перфокартах ЕС-9011	2
Устройство подготовки данных на перфоленте ЕС-9024	1

Дальнейшим развитием семейства машин ЕС ЭВМ является вычислительная машина ЕС-1035, в которой используются достижения в построении структуры и элементной базы.

Технические характеристики ЕС-1035

Среднее время выполнения операций над словами, мкс:	
сложение, вычитание с фиксированной запятой	2—4
сложение, вычитание с плавающей запятой	6—11
умножение с фиксированной запятой	20—30
умножение с плавающей запятой	16—48
деление с фиксированной запятой	30—36
деление с плавающей запятой	28—32
коротких операций	5,5
Оперативная память:	
емкость (в зависимости от типа устройства), кбайт	256—512 или 256—1024
цикл (в зависимости от типа устройства), мкс	2 или 0,8
Мультиплексный канал:	
количество	1
количество подканалов	16—128
скорость передачи данных, кбайт/с:	
в мультиплексном режиме	40
в монопольном режиме	130
Селекторный канал:	
количество	4 (или 2+ИФА)
скорость передачи данных, кбайт/с	740
Потребляемая мощность, кВт·А	41
Занимаемая площадь, м ²	110

Минимальный состав ЭВМ ЕС-1035

Процессор ЕС-2635 с одним мультиплексным и двумя селекторными каналами, устройством питания (ЕС-0835) и пультовым накопителем на магнитной ленте (ЕС-5009)	1
Оперативная память ЕС-3237 или ЕС-3235	1
Пульт оператора с пишущей машинкой ЕС-1535	1
Накопитель на магнитной ленте ЕС-5017	6
Накопитель на сменных магнитных дисках ЕС-5061	3
Устройство управления накопителями на магнитной ленте ЕС-5517	1
Устройство управления накопителями на сменных магнитных дисках ЕС-5561	1
Устройство ввода с перфокарт ЕС-6012	1
Устройство ввода с перфоленты ЕС-6022	1
Устройство вывода на перфокарты ЕС-7010	1
Устройство вывода на перфоленту ЕС-7022	1
Печатающее устройство ЕС-7032	1
Устройство подготовки данных на перфокартах ЕС-9011	1
Устройство подготовки данных на перфоленте ЕС-9024	1

Старшей моделью единой системы является вычислительная машина ЕС-1050. Она используется в крупных вычислительных центрах, в больших системах обработки данных и многомашинных комплексах.

Технические характеристики ЕС-1050

Среднее время выполнения операций над словами, мкс:	
сложение, вычитание с фиксированной запятой	0,65
сложение, вычитание с плавающей запятой	1,4
умножение с фиксированной запятой	2
умножение с плавающей запятой	2
деление с фиксированной запятой	8,3
деление с плавающей запятой	7,2
коротких операций	0,65
Оперативная память:	
емкость, кбайт	256—1024
цикл, мкс	1,25
Мультиплексный канал:	
количество	1
скорость передачи данных, кбайт/с:	
в мультиплексном режиме	30—110
в селекторном режиме	100—180
Селекторный канал:	До 6
количество	
скорость передачи данных, кбайт/с	1300
Потребляемая мощность, кВт·А	70
Занимаемая площадь, м ²	200—250

Минимальный состав ЭВМ ЕС-1050

Процессор ЕС-2050	1
Мультиплексный канал ЕС-4012	1
Селекторный канал ЕС-4035	2
Оперативная память ЕС-3205	2
Накопитель на магнитной ленте ЕС-5017	8
Накопитель на сменных магнитных дисках ЕС-5050	5
Устройство управления накопителями на магнитных лентах ЕС-5517	1
Устройство управления накопителями на сменных магнитных дисках ЕС-5551М	1
Устройство ввода с перфокарт ЕС-6019	2
Устройство ввода с перфоленты ЕС-6022	2

Устройство вывода на перфокарты ЕС-7010	2
Устройство вывода на перфоленту ЕС-7022	2
Печатающее устройство ЕС-7032	2
Пишущая машинка с блоком стандартного сопряжения с каналом ЕС-7077	2
Система питания ЕС-0853	1
Устройство подготовки данных на перфокартах ЕС-9011	1
Устройство подготовки данных на перфоленте ЕС-9024 (ЕС-9020)	1

Новой высокопроизводительной моделью единой системы является вычислительная машина ЕС-1060, которая также предназначена для использования в крупных вычислительных центрах и высших звеньях автоматизированных систем управления.

Технические характеристики ЕС-1060

Среднее время выполнения операций над словами, мкс:	
сложения, вычитания с фиксированной запятой	0,32
сложения, вычитания с плавающей запятой	1,80
умножения с фиксированной запятой	1,55
умножения с плавающей запятой	2,85
деления с фиксированной запятой	5,75
деления с плавающей запятой	4,40
коротких операций	0,32
Оперативная память:	
емкость, кбайт	2048—8192
цикл, мкс	1,25
Мультиплексный канал:	
количество	До 2
скорость передачи данных, кбайт/с:	
в мультиплексном режиме	До 110
в монопольном режиме	До 670
Селекторный канал:	
количество	До 6
скорость передачи данных, кбайт/с	1250
Потребляемая мощность, кВт	100
Занимаемая площадь, м ²	270

Минимальный состав ЭВМ ЕС-1060

Процессор ЕС-2060	1
Оперативная память ЕС-3206	2
Мультиплексный канал ЕС-4012-01	1
Селекторный канал ЕС-4035-03	1
Адаптер канал — канал ЕС-4060	1
Пульт управления ЕС-1501-01	1
Пульт управления на магнитной ленте ЕС-5009	1
Распределительное устройство системы питания ЕС-0853	1
Накопитель на магнитной ленте ЕС-5017	8
Накопитель на сменных магнитных дисках ЕС-5050 (ЕС-5056М)	10
Устройство управления накопителями на магнитной ленте ЕС-5517	1
Устройство управления накопителями на сменных магнитных дисках ЕС-5551М	2
Устройство ввода с перфокарт ЕС-6019	2
Устройство ввода с перфоленты ЕС-6022	2
Устройство вывода на перфокарты ЕС-7010	2
Устройство вывода на перфоленту ЕС-7022	2
Печатающее устройство ЕС-7032	2
Пишущая машинка с блоком управления ЕС-7077	2

Устройство группового управления с выносными пультами	
ЕС-7096 в составе:	
устройства управления ЕС-7566	1
индикаторов ЕС-7066	4
Устройство подготовки данных на перфокартах ЕС-9011	4
Устройство контроля информации на перфокартах ЕС-9013	1
Устройство подготовки данных на перфоленге ЕС-9024	1

Страны социалистического содружества выпускают модели ЕС ЭВМ: ЕС-1010 (ВНР), ЕС-1012 (ВНР), ЕС-1021 (ЧССР), ЕС-1021 (ПНР), ЕС-1040 (ГДР).

11.6. Применение микро-ЭВМ в системах управления

В последние годы создан новый класс функциональных приборов, построенных на базе больших интегральных схем (БИС) — микропроцессоров.

Микропроцессор (МП) — это функционально законченное устройство с фиксированным интерфейсом, построенное на одно- или многокристальных БИС, состоящее из арифметико-логического устройства, внутренних регистров и устройства микропрограммного или жесткого управления, предназначенное для реализации заданной системы команд.

Разработаны микропроцессорные семейства и микропроцессорные системы (МПС), а добавление к МП внешних блоков памяти и устройство ввода—вывода позволило реализовать новый класс вычислительных машин — микро-ЭВМ.

Микро-ЭВМ — это конструктивно завершенная МПС, оформленная в виде автономного прибора с собственным источником питания, интерфейсом ввода—вывода и комплектом программного обеспечения.

Развитие микро-ЭВМ идет по двум направлениям. Первое — создание узкоспециализированных микро-ЭВМ, второе — создание микро-ЭВМ общего назначения для решения определенного класса задач. Микро-ЭВМ общего назначения выпускаются в двух комплектах. Первый — для решения широкого круга задач — содержит пульт управления, источник питания и другие периферийные устройства; второй предназначен для встраивания в аппаратуру и не имеет периферийных устройств.

В нашей стране выпускаются три семейства микро-ЭВМ: «Электроника С5», «Электроника НЦ» и «Электроника-60».

В состав семейства микро-ЭВМ «Электроника С5» входят модели: «Электроника С5-01», «Электроника С5-02», «Электроника С5-11», «Электроника С5-12», «Электроника С5-21». Все модели являются программно-совместимыми.

Таблица 11.4. Характеристики микро-ЭВМ «Электроника С5»

Модель	Быстродействие, тыс. операций в 1 с	Объем ОЗУ, слов	Объем ПЗУ, слов	Габарит, мм	Конструктивное исполнение
С5-01	10	3К	2К	420×380×225	Многоплатное
С5-02	10	10К	2К	460×415×245	То же
С5-11	10	128	1К	270×267×29	Одноплатное
С5-12	10	128	2К	298×284×30	То же
С5-21	180	256	2К	309×244×29	»

Основные технические характеристики микро-ЭВМ семейства «Электроника С5» приведены в табл. 11.4.

Семейство «Электроника НЦ» также представляет собой ряд программно-совместимых микро-ЭВМ. Младшей моделью данного семейства является ЭВМ «Электроника НЦ-03Т». Ее процессор имеет следующие технические характеристики: быстродействие — 50 тыс. операций в 1 с, объем ОЗУ — 32—128 кбайт; время реакции на прерывание — 25 мкс.

Микро-ЭВМ «Электроника-60» является ЭВМ широкого назначения. В ее состав, кроме процессора, могут входить различные внешние устройства. Основные технические характеристики центрального процессора: время выполнения команд типа регистр—регистр для прямой адресации — 4 мкс, при косвенной адресации — 7,5 мкс, емкость полупроводниковых ОЗУ 4 К 16-разрядных слов, время обращения к ОЗУ не более 700 нс, цикл ОЗУ не более 2,4 мкс.

Появление микро-ЭВМ оказало существенное влияние на структуру управляющих систем реального времени, предназначенных для сбора и регистрации данных, автоматического контроля и управления технологическими процессами. Стало возможным создание децентрализованных автоматизированных систем управления.

Децентрализованные управляющие системы с использованием микро-ЭВМ строятся по иерархическому принципу. При этом микромашины, реализующие функции локального управления, располагаются в непосредственной близости от объекта управления, а общее управление всей системой осуществляется центральной малой ЭВМ, которая контролирует состояние локальных микро-ЭВМ и вмешивается в управление в предаварийных и аварийных ситуациях.

Децентрализованные управляющие структуры с использованием микро-ЭВМ обладают рядом преимуществ: меньшими общей стоимостью системы, ее габаритом и потребляемой мощностью; возможностью работы МП и микро-ЭВМ в более тяжелых эксплуатационных условиях; высокой функциональной гибкостью; возможностью непосредственно на местах производить первичную обработку данных, вырабатывать и реализовывать несложные управляющие функции; слабым влиянием изменения конфигурации системы и алгоритма управления на местах на работу центральной ЭВМ; повышенной надежностью системы, так как периферийные устройства (МП, микро-ЭВМ), обладая достаточной автономностью, могут продолжать работу при отказе центральной ЭВМ или линий связи.

Центральная ЭВМ, как правило, решает три основные задачи: 1) опрос — периферийные микро-ЭВМ опрашиваются с фиксированной скоростью через определенные промежутки времени, чтобы получить подлежащие обработке данные, которые будут регистрироваться или выводиться на индикацию; 2) обработка информации — данные с периферийных пунктов управления стандартизируются, запоминаются во внешней памяти и периодически (в определенные «свободные» интервалы времени) обрабатываются; 3) взаимодействие с оператором — оператор может выбрать для индикации любой периферийный пункт, любые параметры, дистанционно изменять уставки регулирования, вывести на печать интересующую его информацию.

Периферийные микро-ЭВМ решают следующие основные задачи: регистрация данных — управление частотой опроса и числом входных контролируемых величин; обработка данных — преобразование данных в форму, удобную для представления оператору или для регистрации; индикация данных — выдача не-

обходимой информации на индикаторные устройства в удобной для оператора форме; управление контактными (бесконтактными) переключателями в соответствии с управляющими выходными сигналами микро-ЭВМ, которые вырабатываются в соответствии с заданной программой работ.

Использование микро-ЭВМ в контуре управления имеет еще ряд преимуществ по сравнению с использованием аналоговых регуляторов, которые заключаются в том, что микро-ЭВМ одинаково хорошо работает как в линейных, так и в нелинейных системах управления, не требуя, как это необходимо при использовании аналоговых регуляторов, дополнительной аппаратуры. Все вычисления производятся по машинным программам, которые могут быть при необходимости изменены. Микро-ЭВМ может регулировать процесс при изменяющемся во времени задании (законе регулирования) также без подключения дополнительной аппаратуры, без вмешательства человека.

Глава 12

ЩИТЫ И ПУЛЬТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

12.1. Основные технические данные щитов и пультов

Щиты и пульты систем автоматизации предназначены для размещения на них приборов, сигнальных устройств, аппаратуры автоматического управления, регулирования, защиты, блокировки и др.

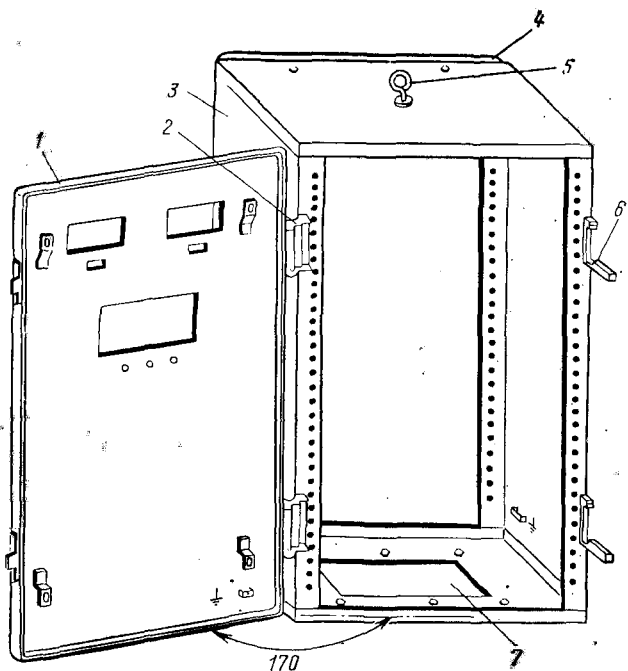


Рис. 12.1. Щит шкафной малогабаритной:

- 1 — дверь;
- 2 — петля;
- 3 — каркас;
- 4 — панель;
- 5 — рым-болт;
- 6 — замок;
- 7 — крышка

Т а б л и ц а 12.1. Номенклатура щитов и пультов по ОСТ 36.13-76

Наименование	Условное обозначение
Щиты шкафные:	
с задней дверью	ЩШ-ЗД
с задней дверью, открытой с двух сторон	ЩШ-ЗД-О2
с задней дверью, открытый с правой стороны	ЩШ-ЗД-ОП
двухсекционный	ЩШ-2
двухсекционный, открытый с двух сторон	ЩШ-2-О2
двухсекционный, открытый с правой стороны	ЩШ-2-ОП
двухсекционный, открытый с левой стороны	ЩШ-2-ОЛ
трехсекционный	ЩШ-3
трехсекционный, открытый с двух сторон	ЩШ-3-О2
трехсекционный, открытый с правой стороны	ЩШ-3-ОП
трехсекционный, открытый с левой стороны	ЩШ-3-ОЛ
с передней и задней дверями	ЩШ-ПЗД
малогабаритный	ЩШМ
Щиты панельные для диспетчерских и операторских пунктов:	
с каркасом	ЩПК
с каркасом, закрытый с правой стороны	ЩПК-ЗП
с каркасом, закрытый с левой стороны	ЩПК-ЗЛ
с каркасом двухсекционный	ЩПК-2
с каркасом двухсекционный, закрытый с правой стороны	ЩПК-2-ЗП
с каркасом двухсекционный, закрытый с левой стороны	ЩПК-2-ЗЛ
с каркасом трехсекционный	ЩПК-3
с каркасом трехсекционный, закрытый с правой стороны	ЩПК-3-ЗП
с каркасом трехсекционный, закрытый с левой стороны	ЩПК-3-ЗЛ
Стативы:	
Статив	С
двухсекционный	С-2
трехсекционный	С-3
плоский	СП
Вспомогательные элементы для щитов диспетчерских и операторских пунктов	
Панель вспомогательная с дверью	ПнВ-Д
Панель вспомогательная	ПнВ
Вставка угловая	ВУ
Панель декоративная	ПнД-ЩПК
Панель торцевая декоративная	ПнТД-ЩПК
Вставка угловая для панелей декоративных	ВУ-Д-ЩПК
Пульты	
Пульт	П
правый	П-П
левый	П-Л
средний	П-С
с наклонной приборной приставкой	ПНП
с наклонной приборной приставкой левый	ПНП-Л
с наклонной приборной приставкой средний	ПНП-С
с наклонной приборной приставкой правый	ПНП-П
Вспомогательные элементы для пультов	
Вставка угловая к пультам	ВУ-П
Вставка угловая к пультам с приборной приставкой	ВУ-ПНП

Различные министерства и ведомства изготавливают достаточно широкую номенклатуру щитов и пультов, отличающихся значительным разнообразием типоразмеров и конструктивных исполнений. Наиболее широкое распространение получили щиты и пульта, изготавливаемые заводами Главмонтажавтоматики Минмонтажспецстроя СССР по ОСТ 36.13—76 «Щиты и пульта систем автоматизации технологических процессов. Общие технические условия». В табл. 12.1 приведена номенклатура щитов и пультов, которая включает в себя: щиты, стивы, пульта, вспомогательные элементы к щитам и пультам.

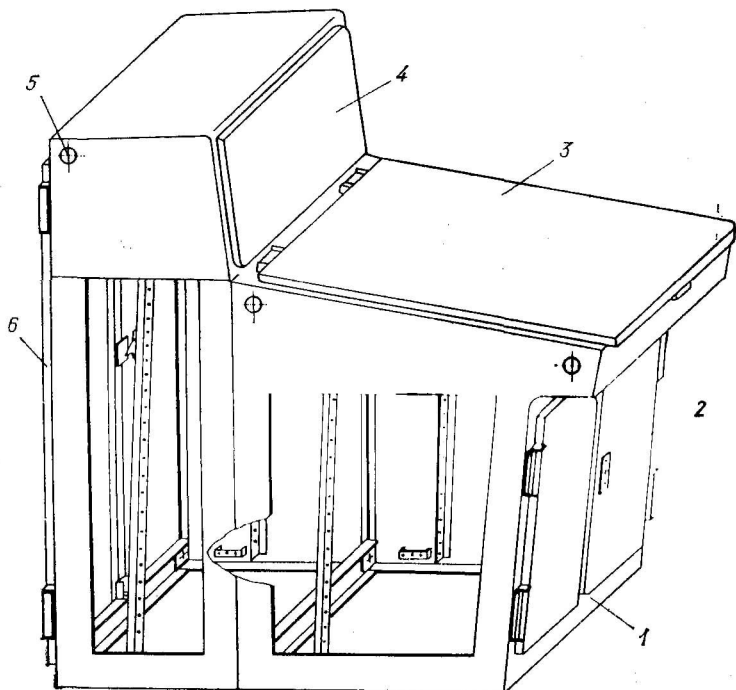


Рис. 12.2. Пульт типа ПП:

1 — каркас; 2, 6 — двери; 3, 4 — панели; 5 — заглушка

Выпускаются щиты шкафные и панельные. Они могут быть одно-, двух- и трехсекционные. На рис. 12.1 показан один из вариантов малогабаритных щитов. Конструкция щитов позволяет устанавливать приборы и аппараты утопленного монтажа только на лицевых панелях. Крепление аппаратуры и электропроводок внутри щитов выполняется с помощью унифицированных элементов: плат, кронштейнов и др.

На рис. 12.2 показана конструкция пульта типа ПП. Основным конструктивным элементом пультов является объемный каркас, на который навешиваются приборная панель, столешница и двери. Исполнение щитов и пультов должно отвечать условиям окружающей среды и производственного или щитового помещения.

В щитовых помещениях, как правило, предусматриваются условия, соответствующие условиям окружающей среды нормальных помещений, если примененные средства автоматизации не требуют для своей работы специальных условий (например, кондиционированного воздуха). Щитовые помещения не должны подвергаться воздействию вибраций, магнитных полей.

12.2. Требования к установке приборов на щитах и пультах

В щитах и пультах систем автоматизации допускается устанавливать приборы и аппараты, к которым подводится напряжение (цепями питания, управления, сигнализации, измерения), не превышающее 400 В переменного и 440 В постоянного тока.

Приборы и аппараты на лицевых панелях щитов и внутри них должны устанавливаться таким образом, чтобы были обеспечены безопасность персонала от поражения электрическим током и удобство обслуживания. Возникающие в процессе работы отдельных аппаратов искры или электрические дуги должны быть безопасны для электропроводки щита и расположенных рядом приборов и аппаратов.

Выполнение указанных требований безопасности обеспечивается главным образом путем соблюдения правил, определяющих допустимые расстояния между токоведущими частями различных приборов и аппаратов в зависимости от типоразмера щита (пульта) и места размещения приборов и аппаратов на щите.

Щиты шкафные, панельные и стивы, изготавливаемые по ОСТ 36.13-76, имеющие глубину 600 мм (кроме шкафных щитов глубиной 800 мм), относятся к щитам, обслуживаемым извне. В этих щитах приборы и аппараты с открытыми токоведущими частями могут устанавливаться в плоскости лицевой панели и боковых стенок. При этом должны соблюдаться указания о ширине проходов перед щитом и за ним (не менее 800 мм без учета требований хорошего обзора щита).

Щиты шкафные глубиной 800 мм применяются главным образом в случаях, когда габариты приборов, устанавливаемых на лицевой панели, требуют применения именно этих щитов; боковые поверхности щитов при этом должны оставаться свободными.

В щитах шкафных малогабаритных приборы и аппараты могут устанавливаться в плоскости всех стенок, а также на дверях.

В пультах для размещения приборов и аппаратов должны использоваться панель столешницы и приборная панель. Внутри пультов рекомендуется устанавливать только сборки зажимов.

При установке приборов и аппаратов в щитах и пультах между открытыми токоведущими элементами разных фаз (полярностей), а также между токоведущими элементами и неизолированными металлическими частями должны быть обеспечены расстояния не менее 20 мм по поверхности изоляции и 12 мм по воздуху.

На щитах, устанавливаемых в щитовых помещениях, не допускается установка приборов, к которым непосредственно подводится горючие и взрывоопас-

ные вещества. В шкафных щитах, устанавливаемых в производственных помещениях, не рекомендуется размещать датчики, к которым подводятся трубы с токсичными веществами, а также устанавливать приборы с ртутным заполнением. При необходимости такой установки щиты должны иметь надежную вентиляцию, отвечающую нормам и правилам работ с токсичными веществами.

На щитах и статорах допускается совместная установка электрических приборов и аппаратов с приборами и вспомогательной аппаратурой пневматических систем автоматизации. Не рекомендуется совместная установка на одной панели щита электрических приборов и аппаратов, к которым подводятся трубы с жидкостью. При необходимости такой установки следует предусматривать специальные меры (козырьки, защитные перегородки и т. п.), предотвращающие возможное попадание жидкости (в случае нарушения герметизации труб) на электрическую проводку или приборы и аппараты.

Аппараты и приборы внутри щитов рекомендуется группировать по принадлежности к системам измерения, управления, сигнализации и т. п., а внутри этих групп — по роду тока, значениям напряжений, типам аппаратов. Аппаратуру систем электропитания (выключатели, предохранители, автоматы) следует компоновать группами по роду тока и значениям напряжений.

При установке приборов и аппаратов внутри щитов рекомендуется придерживаться следующих расстояний от основания щита до:

трансформаторов, стабилизаторов, пускателей, аппаратуры освещения щита, ревунов, звонков громкого боя, источников питания малой мощности — 1700—1975 мм (трансформаторов и источников питания массой более 5 кг — до 500 мм);

выключателей, предохранителей, автоматов, розеток — 700—1700 мм;

сборок коммутационных зажимов — 350—800 мм при горизонтальном расположении и 350—1900 мм при вертикальном расположении;

реле — 600—1900 мм.

Аппаратура, выделяющая тепло (резисторы, лампы и т. п.), должна, как правило, размещаться в верхней части щитов. Аппараты и приборы, характеристики которых существенно зависят от температуры окружающей среды размещаются в зонах, удаленных от устройств, выделяющих тепло.

Аппараты с подвижными токоведущими частями (рубильники, автоматы, магнитные пускатели, реле и др.) должны устанавливаться так, чтобы они не могли замкнуть цепь самопроизвольно под действием силы тяжести.

Подвижные токоведущие части аппаратов в отключенном положении не должны быть под напряжением.

Во всех случаях рабочее положение приборов и аппаратов при установке их на щитах и пультах должно отвечать требованиям стандартов или технических условий на эти приборы и аппараты.

12.3. Электрический монтаж приборов и аппаратов в щитах и пультах

Для электропроводок щитов и пультов применяются изолированные медные провода. Допустимые токовые нагрузки и изоляция проводов должны соответствовать параметрам электрических цепей.

Таблица 12.2. Провода для электропроводок щитов и пультов

Марка провода	Сечение жилы, мм ²	Способ присоединения и оконцевания
ПВ1	0,5; 0,75	Пайкой: штырем для зажимов с нажатием торцом винта; наконечником для зажимов с нажатием головкой винта
ПВ1	1,0	Пайкой: штырем для зажимов с нажатием торцом винта; кольцом для зажимов с нажатием головкой винта
ПВ1	1,5	Штырем для зажимов с нажатием торцом винта; кольцом для зажимов с нажатием головкой винта
ПВ3, ПВ4	0,5; 0,75	Пайкой: штырем с полудой или штыревым наконечником для зажимов с нажатием торцом винта; наконечником для зажимов с нажатием головкой винта
ПВ3, ПВ4	1,0	Пайкой: штырем с полудой или штыревым наконечником для зажимов с нажатием торцом винта; кольцом с полудой или наконечником для зажимов с нажатием головкой винта
ПВ3, ПВ4	1,5	Штырем с полудой или штыревым наконечником для зажимов с нажатием торцом винта; кольцом с полудой или наконечником для зажимов с нажатием головкой винта
НВМ	0,35	Пайкой: наконечником для зажимов с нажатием головкой винта
НВМ	0,5; 0,75	Пайкой: штырем с полудой или штыревым наконечником для зажимов с нажатием торцом винта; наконечником для зажимов с нажатием головкой винта

Наименьшие допустимые сечения проводов должны быть: многопроволочных (гибких) $0,35 \text{ мм}^2$, однопроволочных $0,5 \text{ мм}^2$; в цепях напряжением до 60 В при необходимости допускается применять провода с медными жилами, присоединяемые пайкой, сечением $0,2 \text{ мм}^2$ (диаметр $0,5 \text{ мм}$).

В щитах и пультах, изготавливаемых по ОСТ 36.13—76, применяются провода марок ПВ1, ПВ3, ПВ4 по ГОСТ 6327—79 и НВМ по ГОСТ 17515—72.

В табл. 12.2 в зависимости от марок и сечений указанных проводов даны рекомендации по способам их присоединения и оконцевания.

Провода в щитах и пультах рекомендуется прокладывать открытыми жгутами (пакетами) либо в коробах. Присоединение проводов к приборам, аппаратам, сборкам зажимов может выполняться пайкой (для сечений до 1 мм^2) или винтом с учетом различных способов оконцевания жил.

Для присоединения к штепсельным разъемам, блокам и т. п. рекомендуется применять гибкие провода ПВ3 или ПВ4; для жгутов, переходящих на подвижные элементы (рамы, двери), следует применять провода типа НВМ. Провода НВМ могут применяться в тех случаях, когда монтаж всего щита необходимо произвести проводом сечением $0,35 \text{ мм}^2$.

В технически обоснованных случаях, например когда заводы—изготовители приборов требуют для электропроводок применять специальные провода (экранированные, коаксиальные и др.), должны применяться указанные провода.

Соединения между собой приборов и аппаратов, принадлежащих одной системе управления, измерения, сигнализации в пределах одной панели щита (пульта), выполняются, как правило, непосредственно, без промежуточных зажимов. При необходимости, например, для объединения одноименных цепей провода указанных приборов и аппаратов могут быть выведены на сборки зажимов.

Внешние электрические проводки, выполненные кабелями или проводами, присоединяются, как правило, к приборам и аппаратам, установленным на щитах и пультах, через сборки зажимов.

Провода питающих линий системы электропитания, термоэлектродные провода, а также специальные провода или кабели (экранированные, коаксиальные и др.), поставляемые комплектно с отдельными видами аппаратуры, присоединяются к приборам и аппаратам непосредственно, минуя сборки зажимов.

При этом следует выделять в отдельные группы зажимы цепей измерения, цепей, подлежащих экранированию, цепей питания электрифицированного инструмента и переносного освещения напряжением до 42 В, цепей постоянного и переменного токов, искробезопасных цепей (если эти зажимы в искробезопасных цепях требуются). Группы зажимов должны разделяться маркировочной колодкой либо свободным зажимом.

Рекомендуется соблюдать одинаковый порядок расположения сборок зажимов в сборках для однотипных агрегатов и одинаковых систем управления, измерения, сигнализации и т. п.

В соответствии с общими требованиями по выполнению зануления (заземления) в электроустановках систем автоматизации все металлические элементы щитов и пультов, на которых в результате пробоя электрической изоляции проводов, кабелей, приборов или аппаратов может оказаться опасное для жизни обслуживающего персонала напряжение, должны быть занулены (заземлены).

Нулевой защитный (заземляющий) проводник, с помощью которого производится зануление (заземление) щита, присоединяется под болт к специальной

скобе (внутренней или внешней) на опорной раме щита. Рама с каркасом щита соединяется с помощью болтов, которые обеспечивают необходимый металлический контакт между указанными составными частями щита.

Зануление (заземление) подвижных частей щитовых конструкций — поворотных рам, дверей — осуществляется с помощью гибких проводников, присоединенных с одной стороны к каркасу щита, а с другой стороны к скобе на подвижной части щита.

Зануление (заземление) металлических корпусов приборов и аппаратов, установленных в щите, обеспечивается либо за счет металлического контакта в месте крепления, либо специальным гибким проводником, соединяющим зануляемый (заземляемый) элемент с каркасом щита.

Зануляющие (заземляющие) проводники от брони и металлических оболочек кабелей присоединяются к рейкам сборок зажимов или к специальному уголку на опорной раме щита.

Таким образом, все металлические конструкции щита, включая установленные на нем приборы и аппараты, броню и оболочки кабелей, оказываются соединенными между собой, а через нулевой защитный (заземляющий) проводник — с сетью зануления (заземления).

Зануление (заземление) малогабаритных шкафных щитов выполняется с помощью зануляющего (заземляющего) проводника, присоединяемого к специальной скобе (внутренней или внешней), приваренной к каркасу щита. Соединения между собой остальных элементов щитовых конструкций аналогичны описанным выше для полногабаритных щитов.

Для зануления (заземления) пультов на его каркасе предусмотрена скоба с тремя болтами заземления, к которым может быть присоединен нулевой защитный проводник. Для создания непрерывного металлического контакта между подвижными элементами пульта (панелью столешницы, дверьми) и его каркасом устанавливается гибкий зануляющий (заземляющий) проводник.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы. Справочное пособие / Под ред. Б. Д. Кошарского. Л.: Машиностроение, 1976. 485 с.

Агрегатный комплект средств электроизмерительной техники (АСЭТ). Цифровые вольтметры, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. Вып. 9. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1979.

Агрегатный комплект электрических средств регулирования в микроэлектронном исполнении АКЭСР. Отраслевой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование ГСП, т. 4, вып. 3. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1980. 120 с.

Андреев А. А. Автоматические электронные показывающие, регистрирующие и регулирующие приборы. Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1981. 261 с.

Балашов Е. П., Пузанков Д. В. Микропроцессоры и микропроцессорные системы. М.: Радио и связь, 1981. 326 с.

Боронихин А. С., Гризак Ю. С. Основы автоматизации производства, вычислительная техника и контрольно-измерительные приборы на предприятиях промышленности строительных материалов. М.: Стройиздат, 1981. 343 с.

Бычковский Р. В., Вигдорович В. Н., Колесник Е. А. Приборы для измерения температуры контактным способом / Под ред. Р. В. Бычковского. Львов: Издательское объединение «Вища школа», 1979. 208 с.

Вторичные приборы. Номенклатурный справочник. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1979. 224 с.

Голубятников В. А., Шувалов В. В. Автоматизация производственных процессов и АСУП в химической промышленности. М.: Химия, 1978. 376 с.

Гонек Н. Ф. Малометры. Л.: Машиностроение, 1979. 176 с.

ГОСТ 8.271—77. Средства измерений давления. Термины и определения.

ГОСТ 15528—70. Приборы для измерения расхода и количества жидкости, газа и пара. Термины и определения.

ГОСТ 16263—70. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения.

ГОСТ 18083—72. Преобразователи расхода. Термины и определения.

Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации / С. Я. Борисов, Г. И. Кавалеров, А. Б. Родов и др. Под ред. доктора технических наук Г. И. Кавалерова. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1981, № 7—9, 392 с.

Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации. Номенклатурный каталог. Ч. 1. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1982. 215 с.

Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации. Номенклатурный каталог. Ч. 2. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1983. 156 с.

Грубов В. И., Кирдан В. С. Справочник по ЭВМ и аналоговым устройствам. Киев: Наукова думка, 1977. 464 с.

Гуревич Д. Ф. Трубопроводная арматура: Справочное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, 1981. 368 с.

Дианов В. Г. Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы химических производств. М.: Химия, 1973. 328 с.

Дианов В. Г. Автоматическое регулирование и регуляторы в химической промышленности. М.: Химия, 1978. 376 с.

Дубровский А. Х. Устройство электрической части систем автоматизации. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1984. 272 с.

Златолинская М. К. Современные измерительные (нормирующие) преобразователи. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1983. 82 с.

Клюев А. С., Глазов Б. В., Дубровский А. Х. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие. М.: Энергия, 1980. 512 с.

Клюев А. С., Глазов Б. В., Миндин М. Б. Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1983. 376 с.

Комплекс электроизмерительных приборов АСК. Отраслевой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование ГСП, т. 3, вып. 3. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1981. 36 с.

Комплексы для измерения давления цифровые ИПДЦ. М.: МПО «Манометр», 1980. 10 с.

Комплексы пневматических измерительных преобразователей (датчиков). Средства измерения расхода. Отраслевой каталог на серийно выпускаемое оборудование, т. 2, вып. 8. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1981. 92 с.

Комплексы электрических измерительных преобразователей (датчиков). Отраслевой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование, т. 2, вып. 1. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1980. 88 с.

Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, 1975. 776 с.

Кулаков М. В. Технологические измерения и приборы для химических производств. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1983. 424 с.

Мурин Г. А. Теплотехнические измерения. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1979.

Нормирующие и межсистемные преобразователи. Отраслевой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование, т. 2, вып. 7. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1981. 24 с.

Первичные и вторичные преобразователи. Отраслевой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование, вып. 11. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1979. 32 с.

Петров И. К., Солошенко М. М., Царьков В. А. Приборы и средства автоматизации для пищевой промышленности. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 416 с.

Пневматические исполнительные устройства. Отраслевой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование ГСП, т. 6, вып. 1. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1981. 24 с.

Преображенский В. П. Теплотехнические измерения и приборы. 3-е изд., перераб. М.: Энергия, 1978. 704 с.

Приборы для измерения и регулирования давления, перепада давления и разрежения. Номенклатурный справочник. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1976. 168 с.

Приборы для определения состава и свойств газов, жидкостей, твердых и сыпучих веществ. Номенклатурный справочник. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1973. 148 с.

Приборы для определения состава и свойств газов, жидкостей, твердых и сыпучих веществ. Номенклатурный справочник. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1980. 194 с.

Регулирующие и исполнительные устройства, датчики-реле. Номенклатурный справочник. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1979. 388 с.

Самофалов К. Г., Корнейчук В. И., Тарасенко В. П. Электронные цифровые вычислительные машины. Киев: Вища школа, 1976. 480 с.

Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования. В 2 частях / В. А. Дубровский, В. И. Забокрицкий, В. Г. Трегуб, В. А. Холодовский. Киев: Наукова думка, 1981. 940 с.

Справочник по цифровой вычислительной технике (электронные вычислительные машины и системы) / Под ред. Б. Н. Малиновского. Киев: Техника, 1980. 320 с.

Средства вычислительной техники. Номенклатурный каталог. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1983. 140 с.

Средства измерения температуры. Манометрические термометры. Отраслевой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование ГСП, т. 2, вып. 2. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1979. 32 с.

Средства измерения температуры. Термопреобразователи сопротивления, пирометрические преобразователи, пирометры излучения и сигнализаторы температуры. Отраслевой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование ГСП, т. 2, вып. 4. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1980. 36 с.

Средства измерения температуры. Термоэлектрические преобразователи. Отраслевой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование ГСП, т. 2, вып. 3. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1980. 44 с.

Средства измерения уровня. Отраслевой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование ГСП, т. 2, вып. 1. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1979. 80 с.

Термометры стеклянные жидкостные ртутные и нертутные. Каталог, М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1978. 104 с.

Техника измерения искривлений технологических каналов ядерных реакторов / А. И. Трофимов, Б. М. Кербель, М. Ю. Коробейников, С. Д. Степанченко. М.: Энергоиздат, 1981. 80 с.

Техническая кибернетика / Под ред. В. В. Солодовникова. М.: Машиностроение, 1973, кн. 1. 680 с.

Тименский М. Н., Зуиков Г. М. Контрольно-измерительные приборы для противопожарной и противовзрывной защиты. Справочник. М.: Стройиздат, 1982. 256 с.

Трофимов А. И. Пьезоэлектрические преобразователи статических нагрузок. М.: Машиностроение, 1979. 96 с.

Трофимов А. И. Пьезоэлектрические преобразователи в атомной технике. М.: Энергоатомиздат, 1983. 96 с.

Цифровые вольтметры, аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи. Отраслевой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование, вып. 9. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1979. 30 с.

Шелихов А. А., Селиванов Ю. П. Вычислительные машины. Справочник. М.: Энергия, 1978. 224 с.

Электрические измерения неэлектрических величин / Под ред. П. В. Новицкого. Л.: Энергия, 1975. 576 с.

Электрические исполнительные механизмы. Отраслевой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование ГСП, т. 6, вып. 2. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1981. 12 с.

Эстеркин Р. И., Иссерлин А. С., Певзнер М. И. Теплотехнические измерения при сжигании газового и жидкого топлива. Справочное руководство. Л.: Недра, 1981. 424 с.